Wirkung geologischer Faktoren bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen.

Feldstärkemessungen im horizontal gelagerten Gebirge mit Vertikaltektonik bei Bad Vilbel.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer Hohen Philosophischen Fakultät

der

Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

LEO AMEELY
aus Hamborn a./Rh.

1 9 3 8

DISSERTATIONS-VERLAG G. H. NOLTE DÜSSELDORF

Als Dissertation angenommen am: 4. Juli 1935.

Berichterstatter: Dozent Dr. Tripp.
Mitberichterstatter: Prof. Dr. Wedekind.

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Juli 1935.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

INHALTS-VERZEICHNIS.

Einleitung 1

I.

a) Anschauungen und Erfahrungen über die Wirkung geologischer Faktoren bei der Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen . 1

b) Eine kritische Betrachtung der geologischen Voraussetzungen zu den Formulierungen der Theorie ebener elektro-magnetischer Wellen 10

c) Die Ionisation bodennaher Luftschichten und ihre geologischen Bedingungen 12
(Nach M. Reich, 1934, Haalck, 1934, Schmitt, 1907, Gockel, 1914, Israel und F. Becker, 1935).

II.

Die Untersuchung bei Bad Vilbel.

a) Die Geologie des Untersuchungsgebiets 15

b) Das Meßgerät und die Meßmethode 19

c) Die Darstellung der Meßergebnisse 22

d) Die Deutung der Meßergebnisse bei Bad Vilbel 29

Zusammenfassung 34

Literaturverzeichnis 35

Anhang 37

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555610_0238

Einleitung.

Ausgangspunkt für die vorliegende Untersuchung ist die Arbeit von K. Tripp (1933) „Gesteinsbrüche durch Radio nachweisbar". Zur weiteren Bearbeitung und zur Begrenzung der Möglichkeiten der Einwirkung des hier beobachteten geologischen Faktors der „Tektonik" wurde diese Arbeit angesetzt. Die Zeit dafür war günstig. Die Technik hatte eine Reihe von handlichen Meßgeräten entwickelt, die es erlaubten, in kurzer Zeit die Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen über größere Strecken hin zu verfolgen. Daneben war die Wirkung von verschiedenen Faktoren im Gelände von der Technik bereits erkannt. Z. T. hatten Theorie und Technik auch geologische Faktoren beachtet. Es galt bei der Verfolgung der Wirkung der Tektonik, diese im Rahmen aller möglichen wirksamen Faktoren, insbesondere der geologischen, zu erkennen. Unter den geologischen Faktoren ist es vor allem die Leitfähigkeit des Bodens, die immer zu Deutungen von Anomalien herangezogen wird. Es ist daher notwendig, neben der Betrachtung aller bereits erkannten Faktoren die Wirkung der elektrischen Konstanten besonders eingehend zu begrenzen.

I.

a) Anschauungen und Erfahrungen über die Wirkung geologischer Faktoren bei der Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen.

Eine Übersicht über Erfahrungen und Anschauungen der Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen liefert Sacklowski (1928) in seiner Arbeit „Die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen". Er behandelt die Ausbreitung unter der Wirkung aller erkannten Faktoren übersichtlich und gibt eine bis zum Jahre 1926 reichende erschöpfende Literaturangabe. Die Erfahrungen der Technik sowie die Anschauungen der Theorie unter besonderer Berücksichtigung geologischer Faktoren sind an Hand der Spezialliteratur näher bearbeitet worden.

Nach Abraham (1901, 1921) können die für einen Dipol geltenden Gleichungen, die von Hertz aufgestellt wurden, auf die Sender der drahtlosen Telegraphie übertragen werden, wenn man die Erde als unendlich gut leitend voraussetzt. Die Erde wirkt dann wie ein in der Ebene des Dipols liegender Spiegel. Demnach würde für Punkte auf der Erdoberfläche folgende Beziehungen gelten:

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{h} = \frac{120\pi hJ}{\lambda d};\quad \mathfrak{E} = \text{elektrisches Feld in } \frac{\text{Volt}}{\text{m}} \qquad \mathfrak{h} = \text{magnetisches Feld}$$

Hierbei ist h die wirksame Höhe des Luftleiters in m, λ die Wellenlänge in m, J der Strom im Luftleiter in Ampère. Bei kleineren Entfernungen vom Sender kommt noch das Nahe-Wirkungsglied hinzu: $+\frac{60\,h\,J}{d^2}$ Nach einer Entfernung von $d = 4\lambda$ ist der prozentuale Anteil dieses Gliedes schon unter 5% des Hauptgliedes gesunken. E. Cohn (1900) und K. Uller (1902, 1920) behandeln in ihren Arbeiten die Ausbreitung ebener elektro-magnetischer Wellen. E. Cohn nimmt als Voraussetzung eine ebene Oberfläche eines unbegrenzten Leiters. K. Uller ersetzt den Leiter durch eine gut leitende Flüssigkeit. Am Schluß seiner Arbeit stellt er Betrachtungen an, wie die Ausbreitung erfolgen würde, wenn das Leitvermögen schlechter sei. Systematisch wurde von J. Zenneck (1907) die Ausbreitung auf Grund dieser Überlegungen rechnerisch behandelt. Eine ebene elektro-magnetische Welle wird hier in ihrem Verlauf unter Annahme verschiedener elektrischer und magnetischer Konstanten der Luft und der Erde an der Grenzfläche beider Medien entwickelt. Dabei erwiesen sich die elektrische Leitfähigkeit der Luft sowie die Abweichung der magnetischen Größen des Erdbodens als Größen, die neben der Leitfähigkeit der Bodenfläche und ihrer Dielektrizitätskonstante zu vernachlässigen sind. Im Anschluß an diese Untersuchungen bringt Sommerfeld (1911, 1920, 1926) eine mathematische Behandlung mit der Absicht, den Existenzbeweis für die bisher angenommenen ebenen elektro-magnetischen Wellen zu liefern. Die Frage, die auch heute noch alle beschäftigt, nämlich ob die Wellen der drahtlosen Telegraphie den Hertzschen Wellen in Luft oder den elektro-dynamischen Drahtwellen ähnlich sind, sollte hier beantwortet werden. Beide Anschauungen werden vertreten; denn die Antwort ist nicht unbedingt. Die ebenen Wellen bilden nach dieser Untersuchung einen wesentlichen und unter gewissen Umständen überwiegenden Anteil des elektro-magnetischen Feldes. Sie sind begleitet von Raumwellen, die unter gewissen anderen Umständen ihrerseits überwiegen können. Für erdigen Untergrund ist nach diesen Überlegungen der Bereich der Raumwelle auf die kurze Entfernung von nur einer Wellenlänge beschränkt. Die flächenhafte Ausbreitung der Energie bei der ebenen Welle läßt die Energie mit $1/r$ (r = Entfernung vom Sender) abnehmen. Daraus folgt, daß die Amplitude des Feldes wie $1/\sqrt{r}$ abnimmt. Bei räumlicher Energiestrahlung muß die Energie mit $1/r^2$ abnehmen. Jedoch wird die durch die Oberflächenwelle übertragene Energie durch Absorption in der Erde geschwächt. Diese Dämpfung kommt bei der formelmäßigen Fassung der Ausbreitung durch eine e-Funktion zum Ausdruck. Ihre Beziehung zu den elektrischen Konstanten des Erdbodens hat nach Zenneck Hack (1908) näher untersucht, indem er die Dämpfung bestimmte, die zwei Schichten verursachen, die abweichende elektrische Konstanten haben und übereinander liegen. In der Natur entspricht dies horizontalen Schichten mit wechselnder Feuchtigkeit. Daneben untersuchte er, genau wie Zenneck, die deformierende

Wirkung der Schichten auf den Ausbreitungsvorgang. Die radiale Dämpfung durch den Boden verursacht nach Sommerfeld die schnellere Abnahme der Oberflächenwelle als die der Raumwelle, obwohl bei der Raumwelle die Energiestreuung größer ist. Werden größere Entfernungen betrachtet, so korrigiert die Erdkrümmung dies Verhältnis. Die Raumwellen können der Erdkrümmung nicht folgen und werden stark gestreut. Die Oberflächenwellen dagegen folgen ohne weiteres der Erdkrümmung. Sommerfeld vermutete sogar, daß dadurch ein Vorwiegen der Raumwelle gar nicht in Frage kommt.

Die Theorien, welche die Strahlung elektro-magnetischer Wellen als reine Raumstrahlung voraussetzen, kommen zum Resultat, daß die Erdkrümmung eine derart große Streuung der Energie verursacht, die den Einfluß der unvollkommenen Leitfähigkeit der Erde ohne Bedeutung sein läßt. Feststellung größerer Feldstärken, als nach diesen Theorien zu erwarten waren, ließ die Anschauung entstehen, die mit einer gut leitenden Schicht in größeren Höhen der Atmosphäre arbeitet. Diese Schicht, Heaviside-Schicht genannt, muß dann die zerstreute Energie wieder zum Erdboden zurückbeugen. Watson (nach Sacklowski) hat auf Grund dieser Anschauung eine Formulierung gegeben, die neben dem Einfluß der leitenden Atmosphärenschicht den Einfluß der leitenden Bodenschichten berücksichtigt.

$$\mathfrak{E} = \frac{A\,h\,J}{\lambda\sqrt{R\sin\vartheta}} \cdot e^{\frac{-\alpha d}{\sqrt{\lambda}}} \frac{\text{Volt}}{\text{m}} \quad \text{wobei} \quad \alpha = \frac{1}{2H}\left\{\left(\frac{\mu_1 \varrho_1}{2c}\right)^{1/2} + \left(\frac{\mu_2 \varrho_2}{2c}\right)^{1/2}\right\} \text{ ist.}$$

Hierbei ist:

ϱ_1 = Widerstand der leitenden Schicht,
ϱ_2 = Widerstand der Erde,
μ_1 = Permeabilität der leitenden Schicht,
μ_2 = Permeabilität der Erde,
H = Höhe der leitenden Schicht,
c = Lichtgeschwindigkeit.

Die zeitlichen Schwankungen der Ausbreitung sowie viele andere charakteristische Formen der Ausbreitung, z. B. tote Zonen bei kurzen Wellen, Unterschied von Tag und Nacht in der Empfangsstärke, lassen sich mit der Annahme der Heaviside-Schicht erklären. Bei Annahme der leitenden Schicht müßte auch das erdmagnetische Feld eine Rolle spielen. Die in der ionisierten Atmosphäre (leitende Schicht) vorhandenen Elektronen müssen unter Einfluß des Erdfeldes eine Änderung der Polarisation der Wellen und Absorption hervorrufen. Die Absorption hat einen selektiven Effekt dadurch, daß bestimmte Wellenlängen besonders stark absorbiert werden. Ist das magnetische Feld H = 0,5 Gauss, so würde die kritische Wellenlänge 213 m sein.

M. Strutt (1932) behandelt unter den gleichen Annahmen wie Sommerfeld die Strahlung unter endlichem Winkel mit der Erde. Auch diese ist abhängig von den elektrischen Konstanten des Erdbodens. Ferner zeigen die Überlegungen, daß der Verlauf der Strahlung unter dem Einfluß des Bodens verschiedenen Charakter annehmen kann. Das Produkt aus Feldstärke und der Entfernung ist bis zu einer gewissen Entfernung ansteigend, um dann erst die erwartete fallende Tendenz zu zeigen. Die Engländer J. A. Ratcliffe und F. W. White (nach Strutt) haben dies experimentell bestätigt (s. graphische Darstellung 1, Abb. 1).

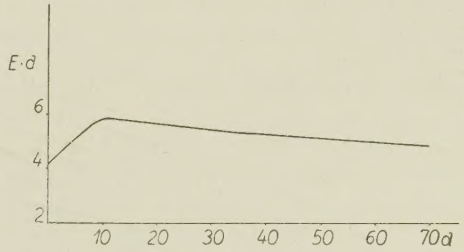


Abb. 1, Darst. 1 n. J. A. Ratcliffe und F. W. White.
Produkt aus Feldstärke und der Entfernung als Funktion der Entfernung.
Ordinate: Feldstärke mal Entfernung, Abszisse: Entfernung in Meilen.

Neben den bisher besprochenen Theorien, die die Wellen der drahtlosen Telegraphie mehr oder weniger den Hertzschen Wellen zuordnen, steht die Theorie von K. Uller (1929). In seiner Arbeit „Welleninduktion in der drahtlosen Telegraphie" schreibt er: „Die an der leitenden Oberfläche erzeugte Welle ist eine Welle besonderer Art, eine geführte Welle, wie wir sie auch in den Drähten haben. In paradoxer Form können wir sagen: Die Wellen der drahtlosen Telegraphie, gelegentlich auch drahtlose Wellen genannt, sind Drahtwellen." Es ist einzusehen, daß bei Annahme einer solchen Wellenart der Führungsfläche eine große Beeinflussungsmöglichkeit zuzuschreiben ist. Vielleicht wird es möglich sein, viele ortsgebundene Eigentümlichkeiten im Ausbreitungsbild der Wellentelegraphie zu deuten. Nach Uller ist nämlich die Induktion dieser Wellenart nicht allein an der Erdoberfläche, sondern es sind mehrfache Induktionen an mehreren Flächen möglich. Es ließen sich dann die Schwunderscheinungen durch gegenseitige Induktion an diese Flächen erklären.

Von den geschilderten Anschauungen ist nur die Theorie ebener elektro-magnetischer Wellen in bezug auf die Wirkung der elektrischen Konstanten des Erdbodens ausgearbeitet. Die Annahme von Grenzschichtwellen zwischen Luft und Erde führt zu erheblichen mathematischen Schwierigkeiten, die von Sommerfeld überwun-

den worden sind. Zenneck und Hack gingen bei ihren Arbeiten von dem einfachsten Fall aus, indem sie eine Planwelle voraussetzten, die ihre größte Amplitude an der Grenze hat und daher Oberflächen- oder Grenzschichtwelle genannt wird. Zenneck untersuchte die Wirkung einer Oberfläche mit verschiedenen elektrischen Konstanten, Hack gliederte den Boden in horizontal untereinander liegende Schichten verschiedener elektrischer Konstanten. Das Resultat der Hackschen Untersuchung war nur für zwei untereinander liegende Schichten mit verschiedenen Konstanten physikalisch sinnvoll, nicht für mehrere. Der Exponent der e-Funktion e^{-Bd} ist ein Produkt aus der Entfernung in km und einer Größe B, die von der Leitfähigkeit und der Dielektrizitätskonstanten der Schichten abhängig ist. Die graphische Darstellung 2 (Abb. 2) (nach Zenneck) gibt die Abhängigkeit der Größe 1/B von der Leitfähigkeit und der Dielektrizitätskonstanten. Wird die Entfernung gleich der Größe 1/B, so sinkt die Amplitude auf den e^{ten} Teil ihrer Größe bei der Entfernung d = d—(1/B), wenn keine Abnahme mit der Entfernung angenommen wird. In der Darstellung 2 gibt die Ordinate den

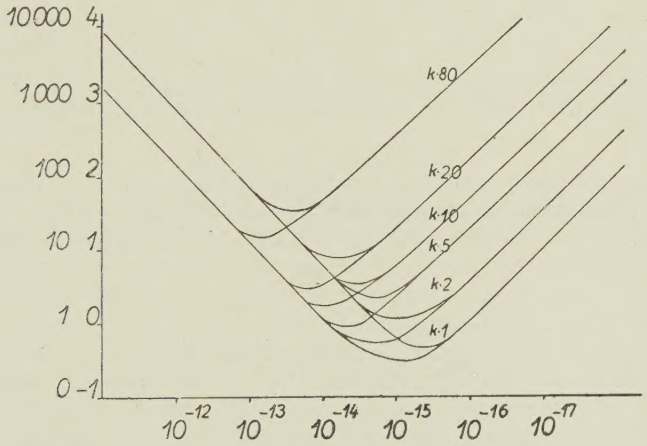


Abb. 2, Darst. 2 n. Zenneck.

Dämpfung in der Fortpflanzungsrichtung als Funktion der Leitfähigkeit bei verschiedenen Dielektrizitätskonstanten. k = 1—80, und den Wellenlängen λ = 300 m λ = 600 m. Abszisse: Leitfähigkeit in C.G.S. Ordinate 1/B in km.

Brigg'schen Logarithmus von 1/B in km an, während die Abszissen den Brigg'schen Logarithmus der Leitfähigkeit in C.G.S. Einheiten festlegen. Die einzelnen Kurven zeigen die Abhängigkeit von der Dielektrizitätskonstanten bei der Wellenlänge λ = 600 m und die weiter links liegende Kurve dieselbe Beziehung für die Wellenlänge

$\lambda = 300$ m. Die Darstellung läßt erkennen, daß die Absorption von einer bestimmten Leitfähigkeit an stark mit der Dielektrizitätskonstanten variiert. Die Wechselzahl der Schwingung besitzt auf die Stärke der Absorption einen größeren Einfluß bis herab zu dem Leitvermögen, für welches die Absorption ein Maximum wird. Die Durchführung der Berechnung bei Hack hatte größere mathematische Schwierigkeiten. Das Resultat läßt sich nicht allgemein auswerten. Hack hat die Diskussion daher auf zwei Fälle beschränkt: 1. eine nasse Oberschicht über trockenem Untergrund, 2. unter trockener Oberfläche ein Grundwasserhorizont. Die Darstellungen 3 und 4

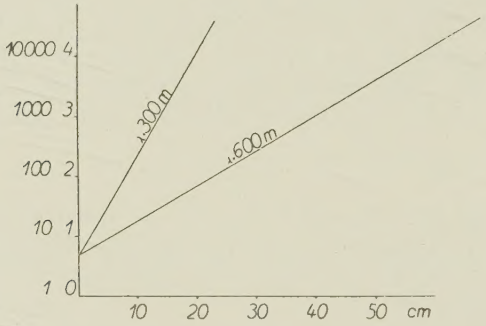


Abb. 3, Darst. 3 n. Hack.
Dämpfung in der Fortpflanzungsrichtung als Funktion der Dicke einer feuchten Oberschicht für die Wellenlängen = 300 m und = 600 m. Abszisse: Dicke der feuchten Oberschicht in cm, Ordinate: 1/B in km.

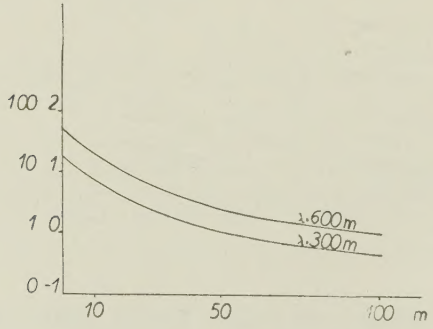


Abb. 4, Darst. 4 n. Hack.
Dämpfung in der Fortpflanzungsrichtung als Funktion der Dicke einer trockenen Oberschicht. Abszisse: Dicke der trockenen Oberflächenschicht. — Tiefe des Grundwasserhorizonts, Ordinate: 1/B in km.

(Abb. 3 u. 4) geben die Auswertung dieser Fälle. Den Berechnungen liegen folgende Zahlen zugrunde:

Fall 1.	Dielektrizitätskonstante	Leitfähigkeit
nasse Oberschicht	15	10^{-13}
trockene Schicht	2	10^{-16}
Fall 2.		
trockene Schicht	2	10^{-16}
Grundwasserschicht	80	5.10^{-14}

In den Darstellungen 3 und 4 geben die Ordinaten den Brigg'schen Logarithmus von 1/B in km an. Die Abszesse in Darstellung 3 entspricht der Dicke der feuchten Oberfläche. Die einzelnen Kurven zeigen den Grad der Abhängigkeit von der Wellenlänge. In Darstellung 4 entspricht die Größe der Abszisse der Tiefenlage des Grundwasserhorizonts und die einzelnen Kurven geben den Verlauf für verschiedene Wellenlängen. Durch einen Vergleich der Resultate der Arbeiten von Zenneck und Hack an Hand der Darstellungen 2, 3, 4 kann geschlossen werden:

1. Die Annahme einer ebenen elektro-magnetischen Welle, die vom Boden geführt wird, ergibt einen großen Spielraum von Möglichkeiten für die Wirkung der elektrischen Konstanten des Bodens.

2. Der Spielraum wird durch einen Wechsel der Schichten in vertikaler Richtung zur Ausbreitungsrichtung noch kompliziert erweitert.

Aus den übrigen theoretischen Erörterungen folgt weiter, daß das Gebiet, in dem die Annahme einer ebenen elektro-magnetischen Welle exakt Gültigkeit hat, nicht bestimmbar ist. Die Erfahrungen der Technik, daß der Einfluß des Bodens mit der Entfernung abnimmt, stimmt am besten mit der Annahme der Heaviside-Schicht und den daraus gezogenen Schlüssen überein. Durch die Heaviside-Schicht wird die Raumwelle zur Erde gebeugt und überlagert die Bodenwelle. Dadurch nimmt der Anteil der Bodenwelle an der übertragenen Energie in dem Maße ab, wie die Dämpfung der Bodenwelle diese gegenüber dem Raumwellenanteil zurücktreten läßt.

Die Möglichkeiten für die Einwirkung der elektrischen Konstanten auf den Ausbreitungsvorgang der elektro-magnetischen Wellen wurden durch die bisherigen Erfahrungen der Technik wenig begrenzt.

Allgemein ist bekannt, daß die Strahlung einer Vertikalantenne oft mit der Richtung variiert. Nach H. True (1911) kann die Beschaffenheit der Oberflächenschichten in der näheren Umgebung des Senders die Ursache sein; denn Unterschiede der elektrischen Konstanten der Oberflächenschichten in einer Entfernung von 100—200 m bedingen eine verschiedene Absorption der induzierten Erdströme. Anomalien, die in mittleren Entfernungen des Senderfeldes fest-

gestellt wurden, sind immer durch die Oberflächengestaltung gedeutet worden. Da die Zahl der Messungen bei diesen Beobachtungen meistens gering war, so fehlt für eine solche Deutung fast immer der exakte Beweis.

V. Fritsch (1932, 1933) stellte in den Höhlen der Mazocha in Mähren Versuche an, bei denen nach dem Bild des gemessenen Verlaufs der Feldstärke der elektro-magnetischen Wellen die Mächtigkeit der zwischen Sender und Empfänger liegenden Gesteinsschichten ermittelt werden sollte. Auf diese Weise versuchte er die Lage unerschlossener Höhlen zu bestimmen. Die Untersuchungen wurden unter der Annahme durchgeführt, daß die Abnahme der Feldstärke im homogen ausgebildeten Gestein proportional der Entfernung ist. Da es sich im Untersuchungsgebiet um ein ziemlich homogenes Kalkgestein handelt, nahm er an, daß das Gestein im allgemeinen gleiche elektrische Konstanten besitzt. Der Sender wurde in einer Höhle 130 m unter der Erdoberfläche stationiert und die Lautstärke in anderen Höhlen bzw. auf einem unterirdischen Flußlauf gemessen. Als Ergebnis war zu verzeichnen: 1., daß Punkte gleicher Entfernung vom Sender ganz verschiedene Feldstärken haben, 2., daß Stellen in der Nähe lehmerfüllter Spalten Empfangsverschlechterung zeigten. Für Verstärkung des Empfangs wurden zwischenliegende Hohlräume als Ursache angesprochen. Fritsch untersuchte ferner den Empfang europäischer Stationen auf der Donau längs der Strecke Preßburg—Russe. Er konnte dabei feststellen, daß die Leitwirkung der Donau den Empfang verbesserte und daß erhaltige Gebirge eine stark abschirmende Wirkung haben können, wenn sich die Empfangsstation, die sich auf einem Schiff befand, dem Gebirge nähert.

R. Hullen (1922) machte es sich zur Aufgabe, örtlich gebundene Anomalien in der Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen zu sammeln und nach dem eventuellen Einfluß geologischer Faktoren zu fragen. Er bringt eine Reihe von Fällen, die nach seiner Meinung nur geologisch zu deuten wären. Bekanntlich wirken die Meeresoberfläche sowie größere Flußläufe für die Reichweite der elektro-magnetischen Wellen fördernd. Und doch gibt es auch hier Stellen, wo der Ausbreitung ungewöhnlich großer Widerstand entgegengesetzt wird. Eine Behinderung durch die Oberflächengestaltung konnte in diesen Fällen nicht als Erklärung herangezogen werden. Beispiele hierfür bieten Beobachtungen in der Ostsee und im Schwarzen, sowie auf der Donau in der Nähe von Braila.

J. Zenneck und Bäumler (1926) haben versucht, den Einfluß des Wechsels von Wasser gegen Land unter Berücksichtigung der Küstenform auf die Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen zu prüfen. Die Feldstärkemessungen, die sie an der deutschen Nordseeküste vornahmen, konnten jedoch zu Auswertungen leider nicht benutzt werden, da der verwandte Sender auf Helgoland in der Amplitude sowie der Frequenz nicht konstant blieb. W. H. Eccles (1913) behandelt den Einfluß von Gebirge, Wald und ionisierter boden-

naher Luft auf den Ausbreitungsvorgang. Er fand, daß Gebirge Hindernisse bilden und Wälder durch Entwicklung ionisierter Luft die elektro-magnetischen Wellen nach oben beugen. Ionisation in den niedrigen Schichten der Atmosphäre erzeugt nach seiner Darstellung einen negativen Ionisationsgradienten, durch den die Wellen nach aufwärts gebrochen werden, sodaß die dahinter liegenden Zonen verminderte Feldstärken aufweisen. Diese Ionisation könnte auch durch die radioaktive Materie des Erdbodens erzeugt werden.

Die empirisch aufgestellte Ausbreitungsformel für die elektromagnetischen Wellen lautet (nach Sacklowski)

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{h} = \frac{120\,\pi\,h\,J}{\lambda \cdot d} \cdot e^{-\frac{\alpha\,d}{\lambda^{b}}} \frac{\text{Volt}}{\text{m}}$$

Die Dämpfung findet, genau wie in den theoretischen Abhandlungen, in einer Exponentialfunktion ihren Ausdruck. Die Größe α soll hierbei charakteristisch sein für den Einfluß des Bodens. b wird im speziellen sehr verschieden angegeben. Im Gegensatz zu der Abnahme der Feldstärke mit der Entfernung, wie es in der obigen Formel angenommen wird, steht die flächenhafte Ausbreitung mit der Abnahme der Feldstärke mit der Wurzel aus der Entfernung. Die Übergänge zwischen beiden Arten können jedoch nicht angegeben werden. Die Größen, die für α gegeben werden, sind immer aus Messungen über sehr große Entfernungen gewonnen. Nach Sacklowski hat α folgende Werte, wenn die Resultate nach der Cohen-Austin'schen Formel berechnet werden:

über Salzwasser	$\alpha = 0{,}0015$,
über Süßwasser	$\alpha = 0{,}0025$,
über nassen Boden	$\alpha = 0{,}009$,
über trockenen Boden	$\alpha = 0{,}028$,
in der Großstadt	$\alpha = 0{,}066$.

Damit die Amplitude auf den e^{ten} Teil sinkt, bzw. die Feldstärke die gleiche wird, müßten demnach bei $\lambda = 250$ m

über Salzwasser eine Strecke von	10 600 km,
über Süßwasser eine Strecke von	6 300 km,
über nassen Boden eine Strecke von	1 800 km,
über trockenen Boden eine Strecke von	600 km,
in der Großstadt eine Strecke von	250 km

durchlaufen werden. Wie der Einfluß des Bodens, also die Größe von α mit der Entfernung abnimmt, wenn die Resultate unter der Annahme einer Raumwelle ausgewertet werden, zeigt die Arbeit von M. Reich (1914). Er fand bei einer Entfernung von 7,1 km das Verhältnis von gemessener Feldstärke zu der Feldstärke, die aus der Formel $\mathfrak{E} = \mathfrak{h} = \frac{120\,\pi\,h\,J}{\lambda \cdot d}$ berechnet war, zu 85% bei $\lambda = 800$ m und für $\lambda = 900$ m in einer Entfernung von 286 km (Neumünster—Göttingen), zu 10—25%. Nach der Cohen-Austinschen Formel ist danach $\alpha = 2{,}38$ für die erste Entfernung und für die zweite $\alpha = 0{,}0291$.

b) Eine kritische Betrachtung der geologischen Voraussetzungen zu den Formulierungen der Theorie ebener elektro-magnetischer Wellen.

Eine Kritik der Voraussetzungen, die bei den Formulierungen der Theorie ebener elektro-magnetischer Wellen benutzt wurden, zeigt, daß selbst in Gebieten, wo die Voraussetzung einer ebenen elektro-magnetischen Welle Gültigkeit hat, das Resultat kaum angewandt werden kann. Die Formulierung von Zenneck setzt eine homogen ausgebildete Erdkruste voraus. Die Homogenität muß sowohl in vertikaler als auch in paralleler Richtung zur Ausbreitung vorhanden sein. Bei Hack ist eine Homogenität in vertikaler Richtung nicht mehr gefordert. Trotzdem gehören selbst diese geologischen Voraussetzungen noch zu den idealen, die die Ausbildung der Erdkruste bietet. Die Erde weist eine Wechsellagerung von mehr oder weniger mächtigen, sandigen, mergeligen und kalkigen Schichten auf. Durch tektonische Vorgänge werden derartige Schichtpakete zerbrochen und gegeneinander bewegt. Innerhalb dieser Verhältnisse übt die dem Erdboden eigene Feuchtigkeit einen bedeutenden Einfluß aus. Sie bedingt eine reiche Variation der elektrischen Konstanten. Tonige Steine nehmen die Feuchtigkeit, ähnlich auch mergelige, nur bis zu einem bestimmten Grad auf und bilden dann einen Stauer für das Wasser. Weniger dichte Gesteine, wie grobe Sande und Schotter, gestatten ein Durchlassen des Wassers. In den zerklüfteten Gesteinen kann es zirkulieren. Folgt auf diese Schichten, die man allgemein als Wasserträger bezeichnet, eine Schicht, die das Wasser staut, so werden die Wasserträger zu einem Sammelbecken. Das Wasser kann also z. B. innerhalb von Schichten fließen, sich sammeln und dann durch undurchlässige Gesteine an tektonischen Störungen gestaut werden. Innerhalb der Störungszonen ist dem Wasser die Möglichkeit gegeben, zu wandern und die Schichten zu wechseln. Der Charakter der vagabundierenden Wässer ist wieder unterschiedlich. Die Wässer können beim Durchfließen oder Verbleiben in Gesteinen Mineralien lösen und damit auch ihren Charakter in bezug auf elektrische Konstanten modifizieren. Sie vermögen große Minerallagerstätten auszulaugen und fortzuführen. Die Anordnung der Schichten und Wasservorkommen in der Erde wird besonders kompliziert, wenn die Gesteine gefaltet sind. Ihre Schichtflächen können dann mehr oder weniger steil gestellt sein, sodaß die Oberfläche einen reichen Wechsel von verschiedenartigen Gesteinen auf kurzer Strecke nebeneinander aufweist. Der Aufbau der Erdrinde erfährt noch eine weitere Variation, wenn die sedimentären Schichten von plutonischen Gesteinen durchdrungen werden. Nach H. Reich (1934) sind für den Einfluß der Feuchtigkeit auf die elektrischen Konstanten des Gesteins das Porenvolumen des Gesteins, die prozentuale Füllung der Poren mit Wasser und der Elektrolytgehalt des Porenwassers maßgebend. Der Unterschied in der Leitfähigkeit auch von Schichten, die nur elektrolytarmes Wasser führen, und solchen, die wasserfrei oder wasserarm sind, ist erheblich. Dabei ist zu be-

merken, daß Tone ebenfalls eine hohe Leitfähigkeit besitzen können und zwar als Folge des von ihnen gebundenen Wassers. Grobe Schotter haben im allgemeinen eine relativ schlechte Leitfähigkeit, da das Wasser in ihnen meist schnell bewegt ist und daher elektrolytarm zu sein pflegt. Damit soll nicht gesagt werden, daß der Unterschied gegenüber trockenen Schichten unerheblich ist. Klüfte und Spalten in Zerrüttungszonen werden nur in festen, porenarmen Gesteinen durch ihren Wassergehalt Unterschiede der Leitfähigkeit bedingen. Das gleiche gilt für blasige Laven und poröse Tuffe als Wasserspeichergesteine. Erhöht werden die Unterschiede durch elektrolytreiche Flüssigkeiten. Elektrolytarme Wässer geben den Sedimentgesteinen eine Leitfähigkeit bis zu 10^{-13} C.G.S. Mit Ausnahme der blasigen Laven und porösen Tuffe haben die Eruptivgesteine und kristallinen Schiefer ein sehr geringes Porenvolumen. Ihr Widerstand ist dementsprechend. Die Leitfähigkeit liegt zwischen 10^{-15} und 10^{-16} C.G.S. An ihrer Trennungsfläche mit lockeren Sedimenten, die elektrolytische Leitfähigkeit besitzen, kann sich daher die Leitfähigkeit sprunghaft ändern. Modifiziert wird diese Kombination, wenn die Eruptivgesteine Erzmineralien enthalten, denn die Erzmineralien haben nahezu metallische Leitfähigkeit. Derbe Erze mit einem Erzmineralgehalt von über 50% würden in bezug auf Leitfähigkeit mit Schichten gleichzusetzen sein, die elektrolytreiches Wasser enthalten. Ihre Leitfähigkeit liegt bei 10^{-11} bis 10^{-13} C.G.S. Unter dieser Grenze bis zu einem Erzmineralgehalt von 20% ist die Leitfähigkeit derjenigen von Gesteinen mit elektrolytarmem Wasser ähnlicher. Im Gegensatz zur Leitfähigkeit wurde die Dielektrizitätskonstante bisher noch nicht eingehend für die verschiedenen geologischen Verhältnisse überprüft. Von R. L. Smith-Rose (1934) wurden neuerdings die elektrischen Konstanten des Bodens für Hochfrequenzströme untersucht. Danach sind Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante noch von der Wechselzahl abhängig. Das Ergebnis der Untersuchungen für die Wellenlänge $\lambda = 300$ m und die verschiedenen Gesteine ist aus der Tabelle zu ersehen.

Ort	Tiefe in m	Bodenart	Feuchtigk.-Gehalt %	Leitfähigkeit in C. G. S.
Rugby (1)	0	dunkler, faseriger Lehm	60	4.10^{-13}
	0,3	Lehm	33	8.10^{-13}
	0,61	Tonerde und Sand	26	$1{,}1.10^{-12}$
	0,91	blaue Tonerde	23	7.10^{-13}
Rugby (2)	0	Lehm	22	7.10^{-14}
	0,3	Lehm und Tonerde	13	$1{,}4.10^{-13}$
	0,91	blaue Tonerde	27	9.10^{-13}
	1,51	Tonerde und Sand	21	8.10^{-13}
	3,03	blaue Tonerde	25	8.10^{-13}

Ort	Tiefe in m	Bodenart	Feuchtigk.-Gehalt %	Leitfähigkeit in C.G.S.
Baldock	0	faseriger Lehm	21	1.10^{-13}
	0,3	kalkiger Lehm	21	9.10^{-14}
	0,61	Kalk	24	4.10^{-14}
	0,91	Kalk	27	9.10^{-14}
	1,51	Kalk	26	2.10^{-13}
	3,03	Kalk	27	2.10^{-13}

Für die Dielektrizitätskonstante gibt er nur das Ergebnis bei der Wellenlänge $\lambda = 30$ m. Nach der Zenneckschen Arbeit würde die Dielektrizitätskonstante bei diesen Leitfähigkeit keinen Einfluß mehr haben. Selbst für die niedrigste Leitfähigkeit, die festgestellt wurde, würde die Dielektrizitätskonstante nur in Frage kommen, wenn sie größer als 20 ist.

c) *Die Ionisation bodennaher Luftschichten und ihre geologischen Bedingungen.*

(Nach M. Reich, 1934, Halck, 1934, Schmitt, 1907, Gockel, 1914, Israel u. F. Becker, 1935).

Radioaktive Sustanzen sind in geringen Mengen in allen Gesteinen der Erdkruste, den Bodenwässern und Gasen vorhanden. Bei der Zersetzung der Atome dieser Substanzen entstehen neben festen Zerfallsprodukten auch gasförmige Stoffe, von denen in der Uran-Radiumreihe die Radiumemanation praktisch am wichtigsten ist. Das Leitvermögen der Luft ist proportional der Ionisation und diese wiederum proportional der radioaktiven Strahlung. Dadurch ist die Bestimmung der Emanation auf indirektem Wege möglich. Das sehr umfangreiche Untersuchungsmaterial über radioaktive Wirkung und ihre Beziehung zur Gesteinsart läßt im allgemeinen eine Gliederung nur bedingt zu. Die Eruptiva sind aktiver als die Sedimente. Eine Ausnahme bilden die Tiefseesedimente. Unter den Eruptivgesteinen zeichnen sich die sauren durch einen größeren Gehalt an radioaktiven Stoffen aus. Um die geologische Fundierung gewisser Zonen hoher Ionisation in bodennahen Luftschichten besonders herauszustellen, gehe ich von den gemachten Feststellungen aus. Ein wichtiger Befund ist, daß bei Verwerfern oft Zonen angetroffen werden, die gegenüber ihrer Umgebung stark ionisiert sind. Es muß demnach geologische Bedingungen geben, die größere Konzentrationen von aktiven Stoffen bedingen. Als Träger der Aktivität kommen aktive Salze nur in geringem Maße, dagegen Emanation in der Hauptsache in Frage. Denn die Untersuchung zahlreicher Quellen ergab, daß das Wasser meistens Radiumemanation und seltener radioaktive Salze enthält. In den Schlammschichten kann dagegen bei manchen Quellen eine Anreicherung der aktiven Salze vorkommen. Die Aktivität der Wässer

und der benachbarten Schichten war dabei nicht an den Mineralgehalt der Quellwässer oder deren Wärmetönung gebunden. Es gibt nämlich kalte mineralarme Quellen, die reich an aktiven Stoffen sind. Erdöllagerstätten erwiesen sich bedeutend aktiver als die Quellwässer. Die Aktivität der Quellen steht ferner im Verhältnis zu ihrer Ergiebigkeit. Es wurde beobachtet, daß mit einer Steigerung der Wasserführung eine Verminderung des Gehalts an aktiven Stoffen pro Volumeinheit des Wassers auftritt. Die Abgabe der aktiven Stoffe an die Umgebung ist von der Ausbildung der Oberflächenschichten abhängig. Bilden fette Tone die Oberfläche, so wird nur ein geringer Austausch an die Atmosphäre erfolgen. Sind dagegen die Schichten locker, so ist eine Übertragung an die Atmosphäre sehr erleichtert. Die Schichten besitzen dann im allgemeinen selbst nur eine geringere Aktivität. Stark ist der Austritt von Emanation in die Atmosphäre, wenn Gewitterböen, aufsteigende Luft oder starker Wind den Austritt der Bodenluft erleichtern.

Radioaktive Stoffe sind in jedem Gestein vorhanden. Lagerstätten mit hohem Gehalt an radioaktiven Substanzen sowie Gesteinsmassen mit relativ großem Radiumreichtum, wie z. B. die Granite, können die Herde sein, denen gewisse Stellen der Erdoberfläche den erhöhten Gehalt an radioaktiven Stoffen verdanken. Das Auftreten der größeren Konzentrationen an der Erdoberfläche ist größtenteils sekundär bedingt. Die unterirdischen Wässer und Gase tragen die aktiven Substanzen von den tiefer liegenden Herden nach oben. Mit dem Bodenwasser kann dann der erhöhte Gehalt an radioaktiven Stoffen längs den Spalten, Klüften, Schichtgrenzen und Verwerfern weit fortgeleitet werden. Noch beweglicher ist die mit der Bodenluft zirkulierende Emanation. Sie kann in Zerrüttungszonen der Erdrinde sehr schnell abwandern. In Gebieten mit horizontal gelagerten Schichten können die durch Ionisation ausgezeichneten bodennahen Luftschichten nur durch Gesteinsbrüche bedingt sein. Damit soll nicht gesagt werden, daß überall, wo Bruchlinien vorkommen, Zonen erhöhter Ionisation in der unteren Atmosphäre vorliegen. Denn die Wirkung ist ja von mehreren Bedingungen abhängig. Da, wo die Gesteinsschichten steil gegen die Erdoberfläche stehen und diese schneiden, können manche Schichtflächen ähnliche Wirkungen zeigen.

Neue Ergebnisse über Radioaktivität und Tektonik wurden von H. Israel und F. Becker (1935) veröffentlicht. Ihre Untersuchungen in Bad Nauheim können für die Auswertung meiner Messungen von Wichtigkeit sein, denn tektonisch und mineralogisch besteht zwischen ihrem und meinem Untersuchungsgebiet Verwandtschaft. Das Quellgebiet in Bad Nauheim, welches von dem Taunusrandverwerfer gequert wird, wurde auf Bodenemanation hin untersucht. Aus 1 m Tiefe wurde die Bodenluft genommen und der Emanationsgehalt gemessen. Über dem Verwerfer stieg der Gehalt an Emanation auf das Hundertfache. Bestimmungen des Kohlensäuregehalts ergaben gleichfalls ein Ansteigen in der Nähe der Ver-

werfung, jedoch war der Anstieg nicht so plötzlich und das Maximum weniger scharf ausgeprägt.

Als wichtigste Ergebnisse aus der gesamten vorhergehenden Abhandlung sind kurz zusammenzufassen:

1. Die Wirkung der elektrischen Konstanten der Oberflächenschichten auf die Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen ist nicht eindeutig feststellbar. In Gebieten, in denen die ebene elektro-magnetische Welle vorausgesetzt werden kann, ist für die Wirkung auf die Ausbreitung ein großer Spielraum von Möglichkeiten gegeben. Es wird nicht möglich sein, aus der Größe der Dämpfung eindeutig auf die elektrischen Konstanten Schlüsse zu ziehen, da eine homogene Ausbildung der Erdkruste nur selten sein wird. Dies gilt besonders für tektonisch gestörte Gebiete.

2. In gestörten Gebieten ist ferner die Möglichkeit vorhanden, daß die unteren Luftschichten Zonen erhöhter Ionisation aufweisen, die an die Störungszonen gebunden sind und die Ausbreitung der Wellen beeinflussen.

II.

Die Untersuchung bei Bad Vilbel.

Bei den grundlegenden Untersuchungen von K. Tripp wurde mit Rückkoppelungs- oder Überlagerungsempfängern gearbeitet. Die Eigenschwingungen dieser Geräte durch Rückkoppelung oder Überlagerung erreicht, erfuhren an bestimmten Stellen im Gelände Änderungen. Diese Stellen lagen immer im Bereich von tektonischen Linien. Durch mehrmalige Wiederholung der Begehung konnten Änderungen der Batterien und der Einstellung der Geräte aus den Ergebnissen eliminiert werden. Die Größe der Änderung war abhängig von der Einstellung der Geräte, die verschiedene Empfindlichkeit ermöglichte. Jedoch war die Einstellung nicht eichbar. Es konnte somit die Empfindlichkeit der Einstellung kein Maß für die Größe der Änderung geben. Damit war es unmöglich gemacht, die wirksamen Faktoren innerhalb eines Gebiets miteinander zu vergleichen.

Es wurden daher zur praktischen Untersuchung der Beeinflussung elektro-magnetischer Felder durch geologische Faktoren Feldstärkemessungen unternommen und zwar mit einem Audion-Feldstärke-Meßgerät. Das Reichspostzentralamt (Berlin-Tempelhof) stellte dies Gerät für die Untersuchung zur Verfügung. Es handelt sich um ein leicht transportierbares Gerät, das sich für Messungen im Gelände eignet. Als Untersuchungsgebiet wurde die nähere Umgebung von Vilbel gewählt in einer Entfernung bis zu 8 km vom Sender Frankfurt, Welle 251 m. Wird ein Kreis mit dem Radius r = 8 km um den Sender als Mittelpunkt gelegt, so bildet das untersuchte Gebiet den nordöstlichen Viertelkreis (s. Meßkarte 1, Abb. 5).

a) Die Geologie des Untersuchungsgebiets.

Als geologische Unterlage für die Messungen diente das geologische Kartenblatt „Frankfurt/Main-Ost—Offenbach" nebst den Erläuterungen, dann die Abhandlung von W. Wenz (1921) über „Das Mainzerbecken und seine Randgebiete, eine Einführung in die Geologie des Gebiets zwischen Hunsrück, Taunus, Vogelsberg, Spessart und Odenwald", weiterhin von W. Paeckelmann (1926) „Die geologisch-tektonische Übersichtskarte des Rheinischen Schiefergebirges" und schließlich die eigenen Beobachtungen.

Ein großer Teil des vermessenen Gebietes ist von Löss bedeckt. An älteren Schichten treten zutage: Kalke und Mergel des Miozäns, Quarzschotter und Sande des Oberoligozäns, graugrüne Mergel des Oberoligozäns, blaugrauer Mergel des Mitteloligozäns, Konglomerate und graurötlicher Sandstein des Oberrotliegenden. Im nordwestlichen Teil, im Gebiet der Nidda und des Erlenbaches, sind Lehm und lehmiger Feinsand die Oberflächenschichten. Im nordöstlichen Teil tritt ein Flecken von Kies und Sand hinzu, der oberflächlich verlehmt ist. Die rotliegenden Gesteine, Tonschiefer, Sandsteine, Konglomerate ergeben einen schweren lehmigen Boden. Die Kalke des Miozäns zeigen in wechselnder Tiefe (10—200 cm) eine braune tonige Verwitterung, und als Reste alter Verwitterungsperioden sind Brauneisenanreicherungen anzutreffen. Der Löss, der oft mehr als 6 m mächtig ist, ist bis zu 1 m zu Lösslehm entkalkt. Mit Ausnahme der wenig verbreiteten oberoligozänen Schotter und Sande sind die obersten Schichten alle lehmig oder tonig ausgebildet. Allen Oberflächenschichten ist daher eine gewisse Bergfeuchtigkeit eigen. Der Löss und die alluvialen lehmigen Bildungen im Gebiet der Nidda und des Erlenbaches stehen in ihrer Wasserführung zwischen Sanden und Tonen. Wo sie nicht stark verlehmt sind, kann das Niederschlagswasser in ihnen durchsickern.

Zur tektonischen geologischen Charakterisierung ist es notwendig, das Untersuchungsgebiet im Zusammenhang mit dem Aufbau der weiteren Umgebung zu betrachten. Aus der tektonischen Karte 1 (Abb. 6) ist zu erkennen, wie der Taunus mit seinen paläozoischen Massen im Nordwesten vorbeizieht. Eine Schar von Verwerfern begleitet ihn am südöstlichen Rand gegen die Wetterau, die mit ihren divulialen und tertiären Schichten einen geologischen Graben zwischen dem Taunus und dem Untersuchungsgebiet bildet. In diesem Graben kommen zahlreiche jungtertiäre Eruptivgesteine vor. Das Untersuchungsgebiet stellt einen Teil eines geologischen Horstes dar, der unter dem Namen „Hohe Straße" oder „Frankfurter Horst" nordsüdlich verläuft. Hier treten die Schichten des Rotliegenden zutage. Ausgedehnte tektonische Hauptlinien mit nordsüdlichem Streichen und relativ kurze Nebenlinien mit ostwestlichem Streichen lösen einander in der Begrenzung des Horstes gegen die Wetterau ab. Weiter östlich ist von diesem Horste der Hanauer Graben nach Osten abgesunken. In ihm sind die jungtertiären eruptiven Massen wiederum

Abb. 6. Tektonische Karte 1, n. W. Paeckelmann.

Diluvium und Tertiär.

Tertiäre Eruptivgesteine.

Rotliegendes.

Verwerfer (— ⊢—) vermutet).

Abbruchlinie.

Begrenzung der paläzoischen Massen im Taunus.

häufig vertreten. Die Verwerfung des Frankfurter Horstes zum Graben der Wetterau ist kein einfacher glatter Abbruch, sondern an gestaffelten Brüchen sind geologische Schollen längs und z. T. auch quer treppenartig abgesunken. So zeigt die tektonische Karte mehrere parallele N—S- wie O—W-Verwerfer mit den dazu gehörigen Schollen, die in Richtung der Pfeile gegen die Wetterau hin abgesunken sind. Die Stärke der Linien gibt den Grad der tektonischen Bedeutung wieder, indem die breiter ausgezogenen Linien das übergeordnete Verwerfungssystem darstellen. Die Höhe der Verwerfung kommt hierbei nicht zum Ausdruck. Sie kann an den dünner gezeichneten Linien bedeutender sein als an den stärker ausgezogenen. Ost-westlich, nord-südlich, südwest-nordöstlich und südost-nordwestlich streichende Verwerfer treffen nördlich von Vilbel in einem Punkt zusammen. Sie werden noch begleitet von einer Schar paral-

leler Störungen. Die Bewegungen der einzelnen Schollen sind in verschieden erdgeschichtlichen Zeiten erfolgt und haben bis ins Diluvium angedauert. Die ursprüngliche horizontale Lage der sedimentären Schichten in den einzelnen Schollen ist bei der tektonischen Bewegung erhalten geblieben.

Über den Untergrund des Rotliegenden ist sehr wenig bekannt, denn lediglich bei Sprendlingen wurde durch Bohrung in einer Tiefe von 267 m unter dem Rotliegenden Granit angetroffen. Die mesozoischen und alttertiären Schichten fehlen im Untersuchungsgebiet. Ein Bild von der variierenden Mächtigkeit der mittleren und jüngeren tertiären Schichten, die das Rotliegende überdecken, sowie von der Wechsellagerung der Sande und Schotter mit mergeligen Kalken und Mergel ergeben die durch das Untersuchungsgebiet gelegten geologischen Profile 1, 2, 3 (Abb. 7, 8, 9) sowie das Profil des beigegebenen geologischen Kartenblattes.

Abb. 7, 8, 9, Profil 1, 2, 3.

Verknüpfung der geologischen Profile mit der Darstellung des Produkts aus der Feldstärke und der Wurzel aus der Entfernung als Funktion der Entfernung. Abszisse: Entfernung in km, Ordinate: 1. links: Produkt in 10^6 mV, 2. rechts: Höhe in m. Die Zahlen, die der Darstellung beigegeben sind, wurden der Meßkarte 3, Abb. 16 s. Anhang und S. 25 entnommen.

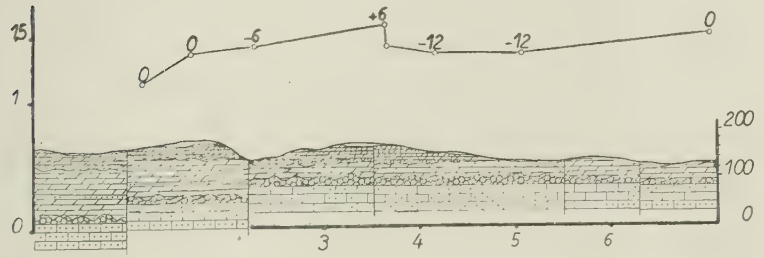


Abb. 7, Profil 1.

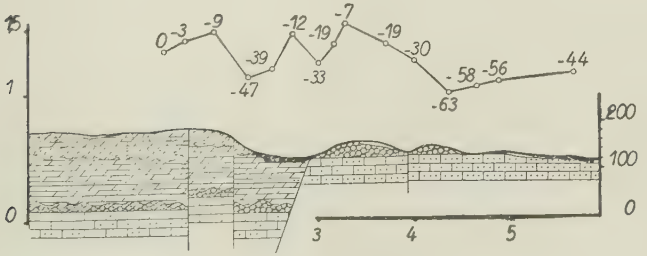


Abb. 8, Profil 2.

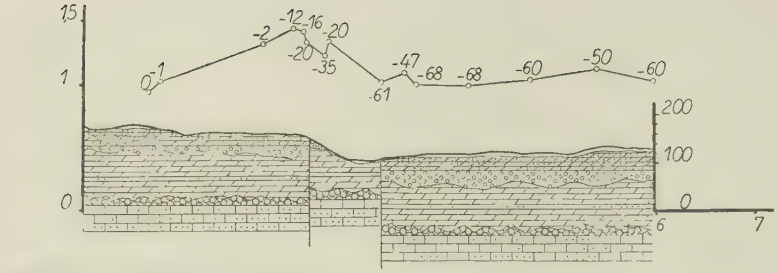


Abb. 9, Profil 3.

Alluvium und Diluvium.	Sand
Kalke und Mergel	Mergel
Schotter und Sand	Konglomerate
Mergel	Sandstein

Das Mineralwasservorkommen bei Vilbel beweist, daß die Verwerfungen und Brüche Verbindung mit der Tiefe besitzen. Die Hauptquellen liegen an der Abzweigung der Straße Vilbel—Massenheim von der Straße Friedberg—Vilbel—Frankfurt. Es sind erdalkalische Säuerlinge, die reichen Kohlensäureauftrieb haben. Der Eisengehalt und der Schwefelwasserstoffgehalt des Mineralwassers ist örtlich bedingt und kann hinreichend durch den Gehalt der tertiären Schichten an Eisen und Schwefelkies erklärt werden. Die Salzlager des Zechsteins, die unter dem Vogelsberg und z. T. auch noch an seiner Umrandung liegen, werden als Lieferant der übrigen salzigen Bestandteile der Vilbeler Wässer angesehen. Sie können in Lösung auf den großtektonischen Linien hierhergewandert und dabei verdünnt worden sein. Die Kohlensäure, deren Entstehung als letzter unterirdischer Vorgang der vulkanischen Tätigkeit aus tertiärer Zeit her betrachtet wird, kann ebenfalls in diese Störungszonen fortgeleitet werden. Im ganzen Graben steht sie unter dem Druck der nach oben abschließenden mächtigen tertiären Mergel und Tonschichten. An den Störungszonen vermag die in der Sole gelöste Kohlensäure infolge Druckentlastung wieder freizuwerden, wodurch sie dem Quellwasser den erhöhten Auftrieb verleiht. Aus den weiter oben gebrachten Überlegungen geht hervor, daß die Bedingungen für ein Auftreten von Emanation in größeren Mengen innerhalb des Untersuchungsgebietes nicht ungünstig sind. Aufsteigende Gase sowie Wässer sind vorhanden. Auf ihrer weiten Wanderung können sie, vor allem wenn die Unterlage Granit ist, Träger von radioaktiven Stoffen sein. Eingehende Untersuchungen auf Radioaktivität sind jedoch noch nicht systematisch durchgeführt worden. Lediglich aus

dem Jahre 1907 liegt eine Veröffentlichung von W. Schmitt vor, nach welcher der Hassia-Sprudel radioaktiv sein soll. Da bei Vilbel reichlich Wasser und Gas austreten, dürfte der spezifische Gehalt des Wassers an aktiven Stoffen zwar nicht groß sein, aber es ist zu bedenken, daß bei der Übertragung der aktiven Stoffe an die Atmosphäre die Wirkung trotzdem groß sein kann, denn hier wirkt ja die Summe aller Gase und austretenden Gewässer. Die erschlossenen Quellen liegen innerhalb der Scharungszone der tektonischen Linien. Hier an der Grenze und teilweise im Sandstein des Rotliegenden selbst würde kein Hindernis vorhanden sein, das den aufsteigenden Medien den Gehalt an aktiven Stoffen nehmen könnte. Neuerdings ist bei Gronau an der Straße Vilbel—Gronau erfolgreich auf Mineralwasser gebohrt worden. Diese Quellen stehen in Verbindung mit der Hauptzone, denn die tektonischen Brüche reichen bis nach Vilbel. Da neben Flußschotter nur Löss als Deckschicht in Frage kommt, so würde sich auch hier kein Hindernis für eine Übertragung der aktiven Stoffe an die Atmosphäre bieten. Die Quellen bei Massenheim, die heute noch frei zutage treten, liegen auf dem Verwerfer, der die nordwestliche Scholle bei Vilbel durchbricht und das westliche Gebiet (westlich des Erlenbaches) nochmals absinken läßt. Hier müssen die Quellwasser den ganzen Schichtenkomplex des Tertiärs queren. Nach geschichtlicher Überlieferung wurden römische Thermalbäder, wie auch Chelius erwähnt, von Quellen gespeist, die im Hexenloch von Vilbel zutage treten, aber heute ganz versiegt sind. Das Hexenloch liegt östlich der Abzweigung der Vilbel-Bergener Straße von der Frankfurter.

b) Das Meßgerät und die Meßmethode.

Das Meßgerät: Die Schaltung und den Aufbau des benutzten Meßgeräts gibt die Abb. 10. Das Gerät besteht aus zwei Kreisen, dem Röhrenvoltmesser und dem Rahmenkreis. Im Rahmenkreis liegen die Rahmenantenne und ein Kondensator. Das von einem Sender erzeugte Wechselfeld ruft in der Antenne einen Wechselstrom gleicher Frequenz hervor. Dieser Wechselstrom besitzt bei konstantem

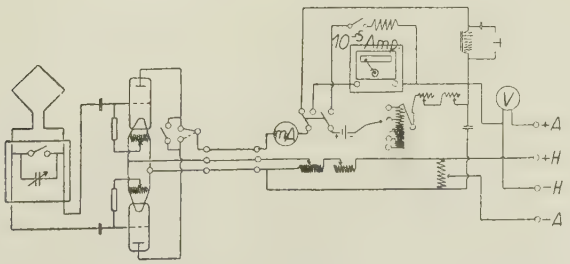


Abb. 10. Schaltung des Audion-FeldstärkeMeßgerät.

Feld sein Maximum, wenn der Rahmenkreis größte Resonanz besitzt (gleiche Frequenz), und wenn die Kraftlinien des Feldes die Rahmenebene senkrecht schneiden. Die Spannung an den Enden des Kondensators wirkt direkt auf das Gitter der Röhren, sodaß proportional der Spannungsamplitude der Anodenstrom verkleinert wird. Im Röhrenvoltmeterkreis liegt eingeschaltet der Hilfskreis, der sog. Kompensationskreis. Durch diesen wird das Gerät empfindlicher gemacht. Die Kompensation des Anodenstroms bewirkt eine gegengeschaltete Batterie. Dieser Kreis enthält weiter ein Galvanometer, wodurch Schwankungen des Anodenstromes auf 10^{-5} Ampère genau gemessen werden können. Wird der Anodenstrom verringert, so überwiegt im Kompensationskreis der Strom der gegengeschalteten Batterie, und das Galvanometer gibt einen Ausschlag, der der Abnahme des Anodenstromes proportional ist. Durch Einschalten verschiedener Widerstände kann in drei verschiedenen Empfindlichkeitsstufen gemessen werden. Die Wirkung der Spannungsamplitude an den Kondensatorenden auf die Abnahme des Anodenstromes ist abhängig von der Charakteristik der Röhren. Bei konstanter Anodenspannung und konstantem Anodenstrom ist sie immer gleich. Die Reichspost eichte den Röhrenvoltmeterkreis, indem die Beziehungen von der Spannungsamplitude des Rahmenkreises und Verringerung des Anodenstromes bei einer bestimmten Spannung und Stärke des Anodenstromes festgelegt wurden. Die Beziehungen für die drei Empfindlichkeitsstufen gibt die Darstellung 5 (Abb. 11) wieder. Bei

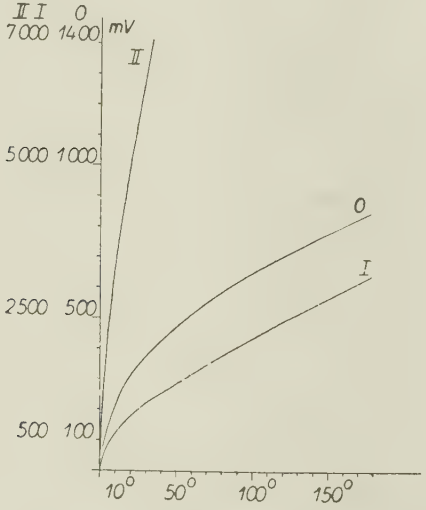


Abb. 11, Darst. 5.
Eichkurven des Meßgeräts. Ordinate: mV, Abszisse: Grade des Kompensationsgalvanometers. — Nach den verschiedenen Empfindlichkeitsstufen (0), I, II.

meiner Untersuchung wurde entsprechend der Sendernähe und Senderstärke mit der Empfindlichkeit II—I gearbeitet. Zur Bestimmung der Feldstärke aus der Spannung ist noch eine Korrektion vorzunehmen. Die Spannungsamplitude erleidet im Rahmenkreis eine Dämpfung. Die Dämpfung ist exponential, nämlich $E = E_0 \cdot e^{-\delta}$, wobei δ von Widerstand, Kapazität und Selbstinduktion des Rahmenkreises abhängig ist. $\delta = R\sqrt{\frac{c}{L}}$, wenn der Widerstand R in Ohm für die betreffende Frequenz, die Kapazität C in Farad und die Selbstinduktion L in Henry in Rechnung gestellt sind. Zwischen der korrigierten Spannungsamplitude und dem Feld besteht die Beziehung

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{h} = \frac{E_0 \cdot \lambda}{2\pi n F}$$

Hierbei ist λ = Wellenlänge, F = Windungsfläche der Rahmenantenne, n = Windungszahl der Rahmenantenne. So kann also das Feld aus der Spannungsamplitude berechnet werden.

Die Meßmethode: Die Konstanz der Eichung sowie der Sendergrößen wurden täglich geprüft. Bestimmte Stellen im Gebiet wurden als Bezugspunkte festgelegt. Während der Dauer der Messungen sind dann täglich zu verschiedenen Zeiten Kontrollmessungen an diesen Stellen vorgenommen worden. Wie die Ergebnisse für alle weiteren Meßstationen, so schwanken auch diese Kontrollmessungen innerhalb einer Grenze von 0—10%. Durch zahlreiche Wiederholungen der Messungen konnte festgestellt werden, daß im allgemeinen die 5%-Fehlerquelle gewahrt blieb. Die Messungen der Spannungen in mV dürfen daher auf 10^2 mV genau angesetzt werden. Für die Auswertung ist diese niedrige Fehlergrenze nicht nötig, denn die Abweichungen bis zu 10% brauchen nicht berücksichtigt zu werden. Die angewandte Empfindlichkeitsstufe kann dadurch noch charakterisiert werden, daß eine beachtliche Beeinflussung der Spannungsmessung durch Annäherung von Bäumen oder Menschen an die Antenne nicht festzustellen war. Für die nächst höhere Empfindlichkeitsstufe des Geräts machen sich solche Beeinflussungen schon stark bemerkbar.

Die ersten Versuche bei Vilbel wurden auf kleinster Fläche angesetzt. Der Verwerfer, der das Rotliegende bei Vilbel gegen Westen begrenzt, wurde an einer Stelle mit einem engen Netz von Messungen überzogen. Dem Verlauf des Verwerfers gegen Norden folgt ein kleiner Bach, der genau in der Verwerferzone verläuft. In der Karte ist dieses Gebiet mit „Hainwinkel" bezeichnet. Die Wegkreuzung innerhalb der rotliegenden Oberflächenschichten mag als Orientierung dienen. In der Nähe dieser Kreuzung wurde ein Quadrat mit einer Kantenlänge von 200 m über der Verwerferzone abgesteckt. Das Quadrat wurde in Feldern von 5 m eingeteilt und jeder Eckpunkt mit einer Messung belegt. Es mußte so vorgegangen werden, da ja eventuelle Änderungen gegen die Umgebung auf kleinster Strecke zu erwarten waren. Das Ergebnis war nicht eindeutig. Es ergaben sich

zwar längs der Verwerferzone Unterschiede gegen die Umgebung, die jedoch die Grenze von 10% nicht überschritten. Übergänge konnten damit nicht eindeutig festgestellt werden. Zahlreiche Wiederholungen der Messungen zeigten dann wieder, daß die Feststellungen aber nicht durch die Fehlergrenze des Geräts bedingt sein konnten.

Auf diese Feststellung hin wurde die Methode geändert. Anstatt der engmaschigen Vermessung wurde nun umgekehrt eine sehr weitmaschige Anordnung der Stationen getroffen. Dabei zeigten sich nunmehr sehr große Unterschiede. Um Beziehungen der Abweichungen mit den wechselnden Untergrundverhältnissen zu finden, mußte also wieder durch kontinuierlich fortschreitende Vermessung die Verbindung der weit auseinander liegenden Meßpunkte hergestellt werden. Die Lage von nahezu 220 Meßstationen im Gelände zeigt die Meßkarte 1 (Abb. 5, s. S. 27). Alle Größen, die zur Auswertung nötig sind, enthält die Tabelle im Anhang.

Die Festlegung der Entfernungen für die Meßstationen vom Sender erfolgte nach dem Meßtischblatt 1 : 25 000, Blatt Offenbach. Hiermit ist die Entfernung bis auf 50 m genau anzugeben. Dieser Fehler liegt innerhalb der Fehlergrenze, die durch das Gerät gegeben ist, denn auf 100 m ändert sich die gemessene Spannung nur um 10^2 mV.

c) Die Darstellung der Meßergebnisse.

In der Tabelle, die im Anhang gebracht (s. S. 37) wird, stehen in

Kolonne I: Nr. des Meßorts in der Meßkarte 1 (Abb. 5), geordnet nach der Entfernung,

Kolonne II: die Entfernung einer Meßstation vom Sender in cm, Maßstab 4 cm = 1000 m,

Kolonne III: festgestellte Grade des Kompensationsgalvanometers bei Empfang,

Kolonne IV: Größe der Spannungsamplitude nach der Formel $E_o = E \cdot e^{\delta}$ berechnet, Einheit mV,

Kolonne V: Feldstärke, bestimmt nach der Formel $\mathfrak{E} = \frac{\lambda E_o}{2 \pi n F}$ Einheit mV/m,

Kolonne VI: Produkte aus Feldstärke in mV/m und Entfernung in m,

Kolonne VII: Produkte aus Feldstärke in mV/m und der Wurzel aus der Entfernung in m.

Die graphische Darstellung 6 (Abb. 12) gibt die Beziehungen der Kolonnen I/II/V. Jeder Meßpunkt ist entsprechend seiner Entfernung und seiner Feldstärke dargestellt. Unter der Annahme, daß sich die elektro-magnetischen Wellen im gemessenen Bereich als

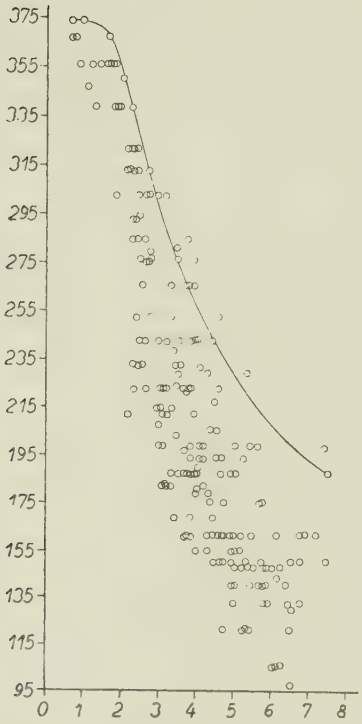


Abb. 12, Darst. 6.
Feldstärke als Funktion der Entfernung. Abszisse: Entfernung in Km, Ordinate: Feldstärke in 10^2 m V/m.

Bodenwellen ausbreiten (Abnahme der Amplitude mit der Wurzel aus der Entfernung), ist aus den Werten der Meßstationen: 11, 19, 24, 34, 51, 56, 68, 99, 110, 111, 145, 175, 215 und 216 der Mittelwert für die Feldstärke bei der Entfernung 1000 m bestimmt worden. Aus diesem wurden dann wieder die Feldstärken für die einzelnen Entfernungen berechnet. Die hierdurch ermittelte Kurve paßt sich bis zur Station 24 recht gut den maximalen Werten an. Für die Abhängigkeit von der Entfernung müssen von Punkt 24 an andere Beziehungen gelten. Diese Tatsache würde nicht gegen die Theorie sprechen die ja auch einen zonaren Wechsel der Beziehungen kennt. Für die Stationen 1—23 ist daher der Verlauf der Kurve nach den Werten orientiert, die einen steten Verlauf der Kurve ergeben. Es sind dies die Werte der Stationen 2, 5, 11, 19. Praktisch spielt der Verlauf der Kurve in diesem Teil für die Auswertung meiner Untersuchung keine Rolle, da diese Stationen in einer maximalen Entfernung von nur $2^1/_4$ km vom Sender gelegen sind. Die Strahlungsleistung einer Sendeanlage wird meistens durch Messung im Gelände

bestimmt. Inwieweit bei diesen Messungen die Bodenverhältnisse die Resultate beeinflussen, wird kaum beachtet. Dadurch ist es möglich, daß Antennen eine Strahlungsleistung zugeschrieben bekommen, die bei umfassender Vermessung eines Gebietes dann als anormal erscheint. Ich bringe diese Überlegung zur Rechtfertigung der nun folgenden Festsetzung. 14 Stationen auf knapp 6 km bestimmen den Verlauf der geschilderten Kurve. Die Prüfung der Beziehung zur Abnahme der Feldstärke mit der Wurzel aus der Entfernung ergibt, daß alle 14 Werte diese Gesetzmäßigkeit zeigen. Es kann daher die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen in dem vermessenen Bereich durch den Verlauf der Kurve festgelegt werden. Das so definierte Bezugssystem weist nun jeder Entfernung eine entsprechende Feldstärke zu. Diese Bezugsgrößen sind in Kolonne VIII eingetragen. Kolonne IX gibt die Differenz der durch Messung bestimmten Feldstärke und der der Meßstation entsprechend ihrer Entfernung vom Sender zugewiesenen Feldstärke. Diese Differenz ist dann in Prozenten der zugewiesenen Feldstärke umgerechnet und in Kolonne X wiedergegeben. Die Prozentzahlen sind in die Karte der Meßstationen eingetragen (Meßkarte 2, Abb. 15, s. S. 27).

Abb. 13. Darst. 7.

Produkt aus Feldstärke und der Wurzel aus der Entfernung als Funktion der Entfernung. Abszisse: Entfernung in Km, Ordinate: Produkt in 10^4 mV.

Die graphische Darstellung 7 (Abb. 13) gibt die Beziehungen von Kolonne I/II/VII. Hier ist das Produkt Feldstärke mal Wurzel aus der Entfernung als Funktion der Entfernung bestimmt. Aus dem Bild der Darstellung wurde die Bezugskurve festgelegt. Nach den theoretischen Erörterungen müßte das Produkt entweder eine Konstante sein oder mit der Entfernung abnehmen, wenn in dem gemessenen Intervall die Annahme der Bodenwelle gemacht werden kann. Nach den getroffenen Feststellungen aus der Darstellung 6 (Abb. 12) ist diese Annahme von der Station 24 an möglich. Die Darstellung des Produktes als Funktion der Entfernung zeigt die steigende Tendenz der Werte bis zur Station 19. Der Steigungsgrad der Kurve, die die Werte der einzelnen Stationen verbindet, ist bis zur Station 19 konstant. Für größere Entfernungen schwanken die Maximalwerte um einen Mittelwert. Nach der Theorie ist dieses Bild durchaus möglich. Die großen Schwankungen sind als Dämpfungswirkungen des Bodens deutbar. Demnach käme der größte Wert des Produkts dem Werte ohne Dämpfung am nächsten. Die Größe dieser Konstanten ist für den Vergleich der Ergebnisse im Bereich der Stationen 19—217 ohne Bedeutung. Sie wäre wichtig, wenn aus der Größe der Abweichungen die elektrischen Konstanten genauer bestimmt werden sollten. Da die Maximalwerte innerhalb einer gewissen Grenze schwanken ohne Rücksicht auf die Entfernung, so wurde als Bezugskonstante ein Mittelwert gewählt. Aus den Werten der Stationen: 19, 24, 34, 47, 51, 52, 56, 68, 80, 85, 97, 99, 101, 111, 133, 145, 175, 215, 216 wurde dieser errechnet. Nur 4 Werte sind über 5% größer als dieser Mittelwert. Er liegt also auch noch innerhalb der Fehlergrenze der höchsten Werte. Als Bezugskurve wurde die bis zur Station 19 konstant ansteigende Gerade und von da an die Parallele zur Abszisse im Abstande der Größe des Mittelwertes festgelegt. Diese Kurve ordnet jeder Entfernung eine Größe zu. Kolonne XI gibt die Differenz von zugeordneter und berechneter Größe. Kolonne XII zeigt, wieviel Prozent diese Differenz von dem Produkt ausmacht, welches aus den gemessenen Größen errechnet wurde. Diese Prozentzahlen sind flächenhaft ausgewertet in der Meßkarte 3 (Abb. 16, S. 37).

Die graphische Darstellung 8 (Abb. 14) gibt die Beziehungen von Kolonne I/II/VI. Das Produkt aus Feldstärke in mV/m und der Entfernung in m ist als Funktion der Entfernung bestimmt. Die Verbindung der jeweils für eine Entfernung maximalen Größe ergibt eine Kurve, die mit den Erörterungen der Theorie und den Erfahrungen der Technik ebenfalls sehr gut übereinstimmt. Bis zur Station 175 ist der Verlauf der Kurve eindeutig. Durch die Werte von Station 215 und 216 wird er ab Station 175 mehrdeutig. Als Bezugssystem wurde die Kurve gewählt, welche die Werte von Station 215 und 216 außerhalb läßt, da ein so starker Anstieg, der lediglich auf zwei Stationen fußt, die zudem noch nahe beieinander liegen, gegenüber den anderen maximalen Werten nicht zu begründen ist. Die Differenz von zugeordneter und berechneter Größe befindet sich für jede Station in

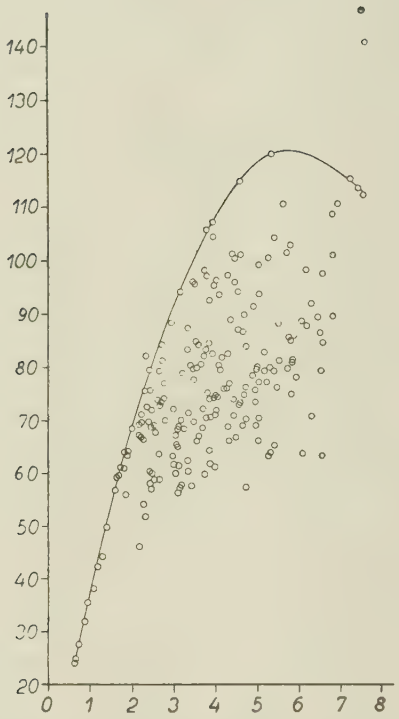


Abb. 14. Darst. 8.
Produkt aus Feldstärke und der Entfernung. Abszisse: Entfernung in Km, Ordinate: Produkt in 10^6 mV.

Kolonne XIII eingetragen. Dem prozentualen Anteil dieser Differenz an der berechneten Größe jeder Station zeigt Kolonne XIV. Auch diese Prozentzahlen sind flächenhaft in der Meßkarte 4 (Abb. 17) wiedergegeben (s. S. 28).

Die Abweichungen der gemessenen Feldstärken von den in der graphischen Darstellung 6 (Abb. 12) zugeordneten Größen sind in der Meßkarte 5 (Abb. 18) flächenhaft wiedergegeben (s. S. 28).

Die Deutung der Ergebnisse erfolgt im folgenden Kapitel d an Hand der Meßkarte 3 (Abb. 16). Diese Abb. besteht aus einem Deckblatt, das die Meßresultate und ihre Auswertung nach Angabe auf Seite 25 trägt, und einer Unterlage. Die einzelnen Meßorte sind in der Unterlage durch Punkte markiert, sodaß es möglich ist, die genaue Lage der einzelnen Meßorte im Gelände zu erkennen. Zum besseren Verstehen der notwendigen Spezifizierung der Auswertung ist es zu empfehlen, das Geologische Kartenblatt, das zum Verständnis des Kapitels II a schon erforderlich war, zur Hand zu nehmen.

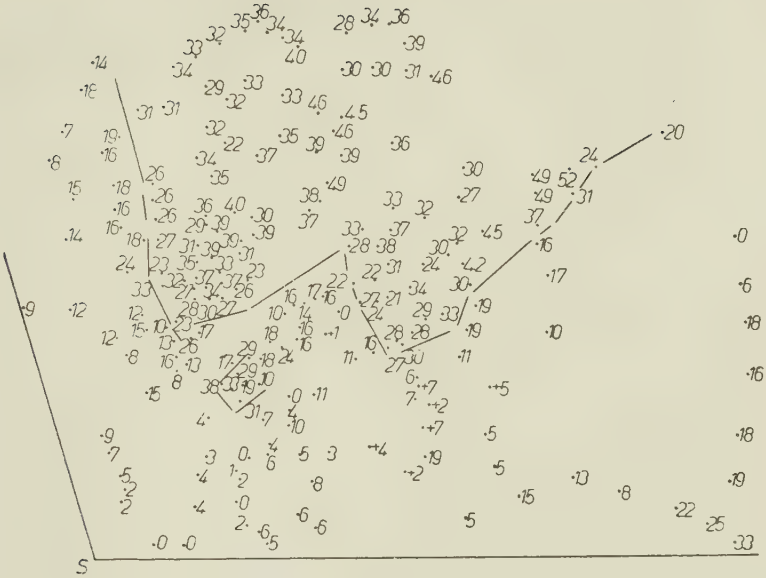


Abb. 15, Meßkarte 2.
Flächenhafte Auswertung der Meßergebnisse, s. S. 24.

Abb. 5, Meßkarte 1 s. S. 22.
Siehe auch Unterlage zu Meßkarte 3, Abb. 16 im Anhang. Das Untersuchungsgebiet bei Bad Vilbel. Lage der 217 Stationen. S-B, S-C, S-D geologische Profile 1, 2, 3. S-A, S-E morphologische Profile 4 und 5. ═══ Tektonische Hauptlinien n. W. Paeckelmann und Geolog. Spezialkarte.

Abb. 17, Meßkarte 4.
Flächenhafte Auswertung der Meßergebnisse, s. S. 26.

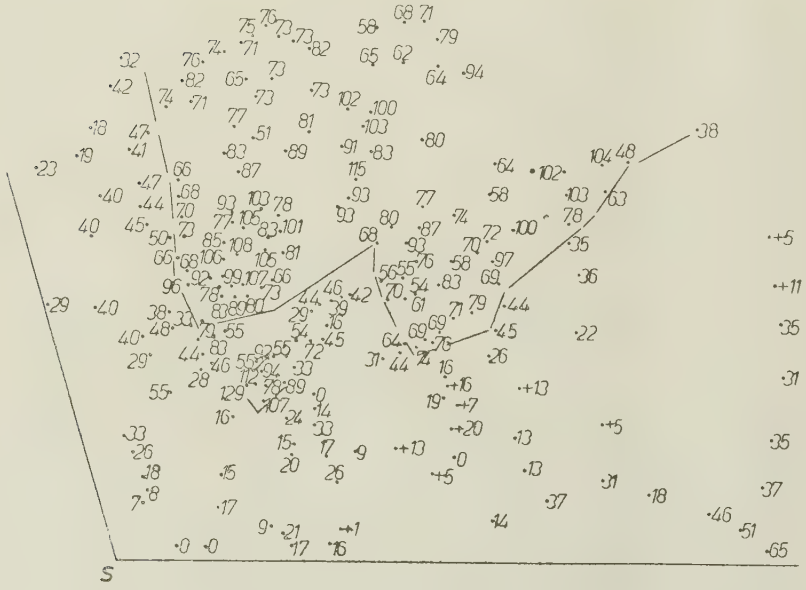


Abb. 18, Meßkarte 5.
Flächenhafte Auswertung der Meßergebnisse, s. S. 26.

d) Die Deutung der Meßergebnisse bei Bad Vilbel.

Die Beschreibung der graphischen Darstellungen 6, 7, 8 (Abb. 12, 13, 14) hat bereits die Wege gezeigt, die beschritten worden sind, um die Meßergebnisse miteinander zuvergleichen. Wie aus den Meßkarten 2, 3, 4, 5 (Abb. 15, 16, 17, 18) zu ersehen ist, haben alle vierAuswertungen das gleiche Ergebnis. Die Gebiete, die sich durch größere Dämpfung der elektro-magnetischen Wellen auszeichnen, lassen sich in den vier Darstellungen gut von der Umgebung trennen, und ihre Grenzen stimmen genau überein.

Die Charakterisierung der Geologie im Untersuchungsgebiet ließ erkennen, daß, abgesehen von den tektonischen Störungen, die geologischen Verhältnisse den idealen Voraussetzungen der Theorie ebener elektro-magnetischer Wellen bei H a c k sehr nahe kommen. Die graphischen Darstellungen 6 und 7 (Abb. 12, 13) zeigten, daß die Feldstärke an zahlreichen Stationen einer Ausbreitung der Energie mittels Bodenwelle entspricht (Abnahme der Feldstärke mit der Wurzel aus der Entfernung). Zur eingehenden Betrachtung des vorliegenden Befundes habe ich die Darstellung gewählt, die in Meßkarte 3 (Abb. 16, S. 37) gegeben ist. Hier wird das Produkt der Feldstärke und der Wurzel aus der Entfernung der einzelnen Meßstationen miteinander verglichen. Der Vergleich der Meßergebnisse in der vorliegenden Art wurde gewählt, weil er neben der Größe der Dämpfung der Bodenwelle die Unterschiede in der Ausbreitung und ihre Beziehung zur Empfindlichkeitsgrenze des Meßgeräts wiedergibt. Nach den theoretischen Erörterungen soll das Produkt bei dämpfungsloser Ausbreitung konstant bleiben. Bei Dämpfung würde es mit der Entfernung abnehmen. Wird es nun, wie in Darstellung 7 (Abb. 13) auf eine Konstante bezogen, so müßte die Differenz zwischen Produkt und Konstante mit der Entfernung größer werden. In der Meßkarte 3 (Abb. 16) sind die Prozentzahlen eingetragen, die angeben, wieviel Prozent die eben genannte Differenz von dem Produkt der Feldstärke und der Wurzel aus der Entfernung für die einzelnen Meßstationen ausmacht. Diese Prozentzahlen müssen also auch wie die Differenz mit der Entfernung allgemein zunehmen. Wie die Betrachtung der Meßkarte jedoch zeigt, wird diese Forderung nicht erfüllt. Daher wurde davon Abstand genommen, aus der Größe der Dämpfung die Entfernung zu eliminieren und einen Dämpfungsfaktor zu bestimmen.

Die Vermessung ergab beträchtliche Unterschiede in der Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen. Von 217 Stationen haben 80 eine Abweichung unter 20% und die Hälfte der 217 Stationen eine solche unter 30%. Außerhalb der umgrenzten Zonen größerer Abweichungen, also auch größerer Dämpfung, überwiegen die Abweichungen unter 20%, wie die Zahl 80 erkennen läßt. Die Abweichungen über 50% machen mit 54 fast die Hälfte der Stationen aus, deren Abweichung über 30% hinausgeht. Die höheren Prozentzahlen in der Nähe von Bischofsheim werden bei der folgenden Betrachtung aus-

genommen, da zu einer Verknüpfung mit dem vermessenen Gelände die Zahl der Messungen in diesem Teil nicht ausreicht. Bei den Gebieten mit Abweichungen unter 30% ist zu erkennen, daß im allgemeinen Prozentzahlen bis zu 12 vorherrschen. Die 20—30% treten genau so komplexhaft auf, wie es die Abweichungen über 30% zeigen. So ist westlich des Erlenbaches bei Massenheim eine Zone, die längs des Erlenbaches Prozentzahlen von 30—17 mit wachsender Entfernung aufweist. Die umgrenzten Zonen zeichnen sich dadurch aus, daß an ihren Grenzen die Abweichungen sprunghaft um mindestens 20% zunehmen. Sie bleiben dann im allgemeinen für die Zone konstant. Doch sind innerhalb dieser Zonen Gebiete mit noch stärkeren Abweichungen gelegen. So verläuft zwischen Erlenbach und der Nidda inmitten der Abweichungen von 30—50% ein zum Sender radialer Streifen mit Prozentzahlen von 50—60. Bei Gronau folgen auf 99—107% plötzlich 36 und 25%.

Durch die intensive Vermessung des Untersuchungsgebiets war es möglich, die Unterschiede in der Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen durch Vergleiche mit den einzelnen Zonen geologisch, morphologisch und hydrologisch in Verbindung zu bringen. Das Gebiet nordwestlich von Vilbel und nördlich der Nidda wird durch den Erlenbach geteilt. Die Höhe ist in beiden Teilen die gleiche. Gegen die Nidda besitzen beide Teile ein gleiches Gefälle. Südlich der Nidda steigt das Gelände zum Sender hin konform an. Ein Streifen Wald bedeckt diesen Abhang. Der Sender liegt mit der Höhe, die in der Karte mit „Rußland" bezeichnet ist, auf gleichem Niveau. Im Gebiet westlich des Erlenbaches und nördlich der Nidda sind hauptsächlich Abweichungen bis zu 20% vertreten. Die Stationen südlich der Nidda weisen solche bis zu 15% auf. Der Einfluß der Nidda auf die Ausbreitung ist hiernach in dem Gebiet westlich der Nidda sehr gering einzuschätzen. Die Nidda sowie der Erlenbach, der fast radial zum Sender verläuft, können also nicht die höheren Werte der Dämpfung östlich des Erlenbaches verursachen. Weiterhin spricht gegen eine abschirmende Wirkung irgendwelcher Faktoren der Oberflächengestaltung, daß die Größe der Dämpfung zwischen dem Erlenbach und der Straße Vilbel—Dortelweil konstant bleibt, wenn sie nicht sogar mit dem Anstieg des Geländes noch zunimmt.

Das Gelände zwischen der Straße Vilbel—Dortelweil und der Nidda sowie das folgende im Niddabogen ist morphologisch einheitlich ausgebildet. Das Ergebnis der Vermessung in diesem Teil beweist, daß Unterschiede der Dämpfung auf kleinster Strecke auftreten können, die nicht durch die durchlaufene Strecke hervorgerufen werden. Einer größeren Dämpfung von 60—95% folgt eine geringere bis zu 39%.

Nordöstlich von Vilbel verläuft die Grenze der Zone, in der eine relativ große Beeinflussung der Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen vorliegt, vom waldfreien Weinberg in bewaldetes Gebiet hinein. Gegen Südosten sind die Grenzen nicht genau festzulegen gewesen, da das bewaldete Gebiet dort schlecht zugänglich war. Die

Messungen im Walde dicht an der oben genannten Westgrenze der großen Abweichungen ergaben nur Abweichungen von 0—20%, die auf kurzer Strecke dann über 30 bis zu 60% ansteigen. Für diesen Sprung in der Größe der Beeinflussung der elektro-magnetischen Wellen gibt die Morphologie keinen Anhalt, denn die Westgrenze der Zone hoher Abweichungen quert vom hochgelegenen Weinberg ausgehend ein Tal und verläuft dann am Rand einer Geländedelle. Bei langsam gegen Südosten ansteigendem Gelände nimmt die Größe der Abweichungen nicht ab, sondern steigt sogar an einer Stelle bis auf 83%. Diese Erscheinung spricht gegen eine dämpfende Wirkung der Waldzonen, denn die Dämpfung müßte mit zunehmender Entfernung wieder abnehmen. Im Gelände, das gegen Gronau hin abfällt, verringert sich die Beeinflussung der Ausbreitung. Kurz vor Gronau steigen dagegen die Abweichungen bis zur maximalen Größe von 69—107% an.

Anderer Natur sind die Verhältnisse von Oberflächengestaltung und Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen östlich der Straßenkreuzung Bergen—Vilbel—Frankfurt. Dort ist ein ziemliches Gefälle von der Straße aus gegen das Hexenloch vorhanden. Die Abnahme der Dämpfung mit der Entfernung von diesem Gefälle aus könnte für eine Abschirmung der im Loch und kurz dahinter gelegenen Zonen sprechen. Um die Wirkung der Morphologie auf die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen zu überprüfen, wurden weiter südlich im gleichen Gebiet mit ähnlicher Morphologie Kontrollmessungen vorgenommen, die keinen derartigen Einfluß ergaben.

Aus diesen Vergleichen ist zu folgern, daß die Oberflächengestaltung nicht mit der Vergrößerung der Beeinflussung elektromagnetischer Wellen in den begrenzten Zonen übereinstimmt.

Aus den gebrachten Überlegungen im ersten Teil der Arbeit ging hervor, daß eine Lösung der Frage nach der Wirkung von Leitfähigkeitsunterschieden auf den Ausbreitungsprozeß der elektromagnetischen Wellen ebenfalls nur auf dem Wege einer eingehenden vergleichenden Betrachtung möglich ist. Zur besseren Übersicht der Beziehungen des Untergrundes mit der Ausbreitung wurden die geologischen Profile mit graphischen Darstellungen verbunden (s.S.17 u.18). Die graphischen Darstellungen geben den Verlauf des Produktes aus Feldstärke und der Wurzel aus der Entfernung als Funktion der Entfernung für das vom Profil geschnittene Gelände. Ferner ist noch für jede Station die Größe der Abweichung in Prozenten angegeben, wie es in Meßkarte 3 (Abb. 16) für alle Stationen im Gelände erfolgte. Gegen eine Wirkung von Leitfähigkeitsunterschieden des Bodens spricht die gesamte Vermessung. Die Konstanz der Dämpfung über größere Strecken trotz der Sprünge der Dämpfung an den Grenzen der Zonen mit größerer Dämpfung kann nur so gedeutet werden, daß die Beeinflussung der Ausbreitung durch die geologischen Schichten nur gering ist. Nach den Arbeiten von Zenneck würde dies bei zwei Fällen eintreten, nämlich bei sehr schlechter oder sehr guter

Leitfähigkeit. Die hydrologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebiets sprechen für den zweiten Fall. Ein sehr großer Teil des Untersuchungsgebiets ist von Löss bedeckt. Mehrere Wasserwerke entnehmen ihr Wasser den Löss-Schichten, so z. B. nördlich von Massenheim und zwischen Mittelfeld und Gronauer Hof. Die Wechsellagerung von Kalken, Sanden und Schottern mit tonigen Mergeln schafft weitere Wasserhorizonte. So zeigt Profil 3 drei Wasserhorizonte stockwerkartig übereinander. Es bilden die Löss-Schichten mit den mergeligen Kalken den obersten Wasserhorizont. Auf diesem folgt folgt der ergiebige Wasserhorizont der Sande und Schotter und nach einer mächtigen wasserstauenden Schicht von tonigen Mergeln folgt schließlich noch ein dritter Wasserhorizont, derjennige der reinen Sande. Das Gebiet westlich der Straße Dortelweil—Vilbel—Frankfurt hat diese Schichtenfolge und Wasserhorizonte. Die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen ist jedoch recht unterschiedlich. Aus der Darstellung in Profil 1 (Abb. 7) ist zu erkennen, daß das Fehlen der beiden unteren Wasserhorizonte keinen nachteiligen Einfluß auf die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen hat. Die Dämpfung nimmt in dem Teil des Geländes, das Profil 1 charakterisiert (vgl. Meßkarte 1, Abb. 5), mit wachsender Entfernung von —12 auf 0% ab. Aus dem gänzlichen Fehlen eines Wasserhorizontes in dem Gebiet, wo das Rotliegende ansteht, könnte nach der Darstellung in Profil 2 (Abb. 8) auf einen ursächlichen Zusammenhang mit der Dämpfung geschlossen werden. Aber eine Betrachtung der besprochenen Westgrenze und der einzelnen Zonen des Gebiets hoher Dämpfung nordöstlich von Vilbel läßt erkennen, daß die großen Dämpfungen auch in Gebieten auftreten, wo die Löss-Schichten in derselben Art, wie es Profil 1 (Abb. 7) zeigt, als Wasserträger vorhanden sind.

Das Mineralwasser kann durch den Mineralgehalt die Leitfähigkeit erhöhen. Die Dämpfung müßte nach Zenneck somit in den betreffenden Gebieten eher geringer werden. Die Untersuchungen haben nun gezeigt, daß die Dämpfung größer wird. Eine Wirkung des Wechsels der Leitfähigkeit kann nach den Betrachtungen über die Oberflächengestaltung und Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen nicht in Frage kommen. Die Talzone der Nidda muß nämlich infolge ihres höheren Feuchtigkeitsgehalts eine bessere Leitfähigkeit als die Talhänge besitzen. Trotzdem konnte in dem Gebiet westlich des Erlenbaches keine große Beeinflussung der Ausbreitung durch diese Talzone festgestellt werden.

Aus der tektonischen Übersichtskarte 1 (Abb. 6) ist zu ersehen, daß das Tal der Nidda innerhalb einer tektonischen Störungszone verläuft, die den Frankfurter Horst gegen die Wetterau abgrenzt. Die Profile 1, 2, 3 (Abb. 7, 8, 9) sowie dasjenige auf der beigegebenen geologischen Karte zeigen, wie reich der Untergrund bei Vilbel bis nach Gronau hinauf von Brüchen durchzogen ist. Die Beziehungen von Tektonik und Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen in dem vermessenen Gebiet sind durch die Verknüpfung der geologischen Profile mit den graphischen Darstellungen leichter zu überprüfen.

Daß die Morphologie dieses Gebiets keine derartige Wirkung auf die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen hat, wie sie die besprochenen Zonen zeigten, ist an Hand der morphologischen Profile 4 und 5 (Abb. 19, 20) nochmals nachgewiesen. Die Darstellungen

Abb. 19 und 20, Profil 4 und 5.
Verknüpfung der morphologischen Profile mit der Darstellung des Produkts aus der Feldstärke und der Wurzel aus der Entfernung als Funktion der Entfernung. Abszisse: Entfernung in Km, Ordinate: 1. links: Produkt in 10^6 mV, 2. rechts: Höhe in m. Die Zahlen, die der Darstellung beigegeben sind, wurden der Meßkarte 3, Abb. 16 s. Anhang und S. 25 entnommen.

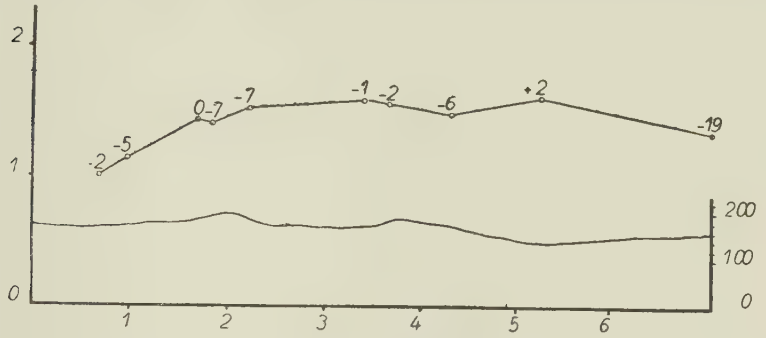


Abb. 19, Profil 4.

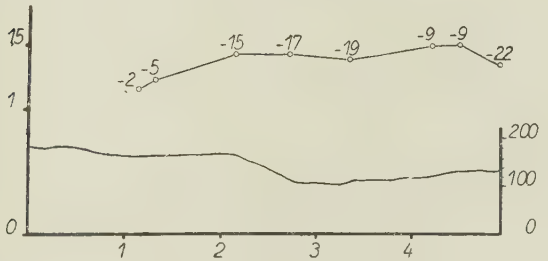


Abb. 20, Profil 5.

in Profil 1, 2 und 3 (Abb. 7, 8, 9) zeigen bestimmte und unterschiedliche Verknüpfungen der Tektonik mit der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen. Bei Profil 1 (Abb. 7) fällt eine Änderung der Beeinflussung auf die Ausbreitung von +6% auf —7% mit einem Verwerfer zusammen, während andere Verwerfer keine Wirkung zeigen. Die tektonischen Unstetigkeitsstellen sind im Profil 2 (Abb. 8) aber alle gleichzeitig Unstetigkeitsstellen der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen. Die Prozentzahlen schwanken an den Verwerfern von 0 auf —9, von —9 auf —47, von —47 auf —12, von —12 auf —33, von —33 auf —7 und schließlich von —7 wieder herunter auf —63. Im Profil 3 (Abb. 9) liegen ebenfalls größere Schwankungen

an allen Verwerferzonen vor. Das morphologische Profil 5 (Abb. 20), das den gleichen Verwerfer weiter westlich quert, läßt die Wirkung der Verwerfung auf die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen nicht mehr erkennen. Es müssen nach diesen Feststellungen noch weitere Ursachen hinzutreten, damit die tektonischen Störungszonen den Ausbreitungsprozeß elektro-magnetischer Wellen auffallend beeinflussen. Auf der Suche nach diesen Ursachen ist es von Bedeutung, daß das tektonische Störungsgebiet zwischen der Straße Vilbel—Dortelweil und der Nidda, wo Abweichungen von 60—96% auftreten, ein Mineralquellgebiet darstellt. Auch im Störungsgebiet bei Gronau in der Nähe der Abweichungen von 96—107% ist neuerdings erfolgreich auf Mineralwasser gebohrt worden. Ebenso treten im tektonisch gestörten Tal des Erlenbaches bei Massenheim heute noch Mineralwässer frei zutage. Im Abbruchgebiet des Hexenlochs sollen früher ebenfalls Mineralquellen die Oberfläche erreicht haben. Als Untersuchungsergebnis ist somit zu verzeichnen, daß die Dämpfung der elektro-magnetischen Wellen am stärksten in denjenigen tektonischen Störungszonen ist, in denen die Mineralwässer auftreten.

Zusammenfassung.

Die Feststellung, daß an tektonischen Zonen der Erdrinde Änderungen der Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen auftreten, gab den Anlaß zu einer Bearbeitung der bisher beobachteten oder theoretisch begründeten Einwirkung geologischer Faktoren auf die Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen sowie zu einer genauen Vermessung der Feldstärke eines Senders. Die Durchsicht der in der Literatur vorliegenden Erkenntnisse der Theorie und der Technik über die Wirkung geologischer Faktoren ließ erkennen, daß bis heute noch keine exakte Begrenzung der Beziehungen von Geologie und der Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen möglich ist. Insbesondere zeigte die Prüfung der Erfahrungen und Anschauungen über die Einwirkung der elektrischen Konstanten (Leitfähigkeit, Dielektrizitätskonstante), daß exakte Beziehungen nicht aufzustellen sind. Über den allgemeinen Verlauf der Strahlung elektro-magnetischer Wellen konnte ein Bild gewonnen werden, das erlaubt, die Entfernung aus den Meßresultaten zu eliminieren. Bei der Vermessung des Frankfurter Senders in der Umgebung von Bad Vilbel wurden große Unterschiede in der Ausbreitung auf kleinster Strecke gefunden. Die Oberflächengestaltung sowie die hydrologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebiets ergaben keine Deutung für die Ergebnisse der Vermessung. Die Untersuchungen über die Beziehungen der tektonischen Störungen zur Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen führte zu dem Ergebnis, daß die Wirkung der tektonischen Zonen auf die Ausbreitung am stärksten in den Zonen ist, die mit dem Mineralwasservorkommen in Verbindung stehen.

LITERATUR-VERZEICHNIS

Abraham, M.: „Theorie der Elektrizität". Phys. Z. S. 1901. Leipzig-Berlin 1921.

Bäumler, M. u. Zenneck, J.: „Versuche über die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen". E. N. T. 3, 1926.

Chelius, C.: „Geologischer Führer durch den Vogelsberg, seine Bäder und Mineralquellen". Gießen o. J.

Cohn, E.: „Das elektro-magnetische Feld". Leipzig 1900.

Eccles, W. H.: "On certain phenomena accompanying the propagation of electric waves over the surface of the earth". Jahrb. drahtl. Tel. 7. 1913.

Fritsch, V.: 1. „Beitrag zum Studium der Ausbreitung elektromagnetischer Felder in unterirdischen Hohlräumen". Jahrb. drahtl. Tel. 39/40. 1932.

— 2. „Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen längs Flußläufen". Jahrb. drahtl. Tel. 41/42. 1933.

Gockel, A.: Die Radioaktivität von Böden und Quellen". Braunschweig 1914.

Haalck, H.: Lehrbuch der angewandten Geophysik. Berlin 1934.

Hack, F.: „Die Ausbreitung ebener elektro-magnetischer Wellen längs eines geschichteten Leiters, besonders in den Fällen der drahtlosen Telegraphie". Ann. d. Phys. 27. 1908.

Hertz, H.: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft". Leipzig 1892.

Hullen, R.: „Reichweiten in Theorie und Praxis". Jahrb. drahtl. Tel. 20, 1922.

Israel, H. u. Becker, F.: „Die Bodenemanation in der Umgebung der Bad Nauheimer Quellenspalte". Sonderdruck Gerlands Beiträge zur Geophysik. Bd. 44. Heft 1, 1935.

Paeckelmann, W.: Geologisch-tektonische Übersichtskarte des Rheinischen Schiefergebirges. Hrsg. v. Preuß. Geol. Landesanstalt. Blatt 1 u. 2. Berlin 1926.

Reich, H.: „Angewandte Geophysik für Bergleute und Geologen". II. Teil. Leipzig 1934.

Reich, M.: „Quantitative Messungen über die durch elektrische Wellen übertragene Energie". Phys. Z. S. 14. 1913. Jahrb. drahtl. Tel. 8. 1914.

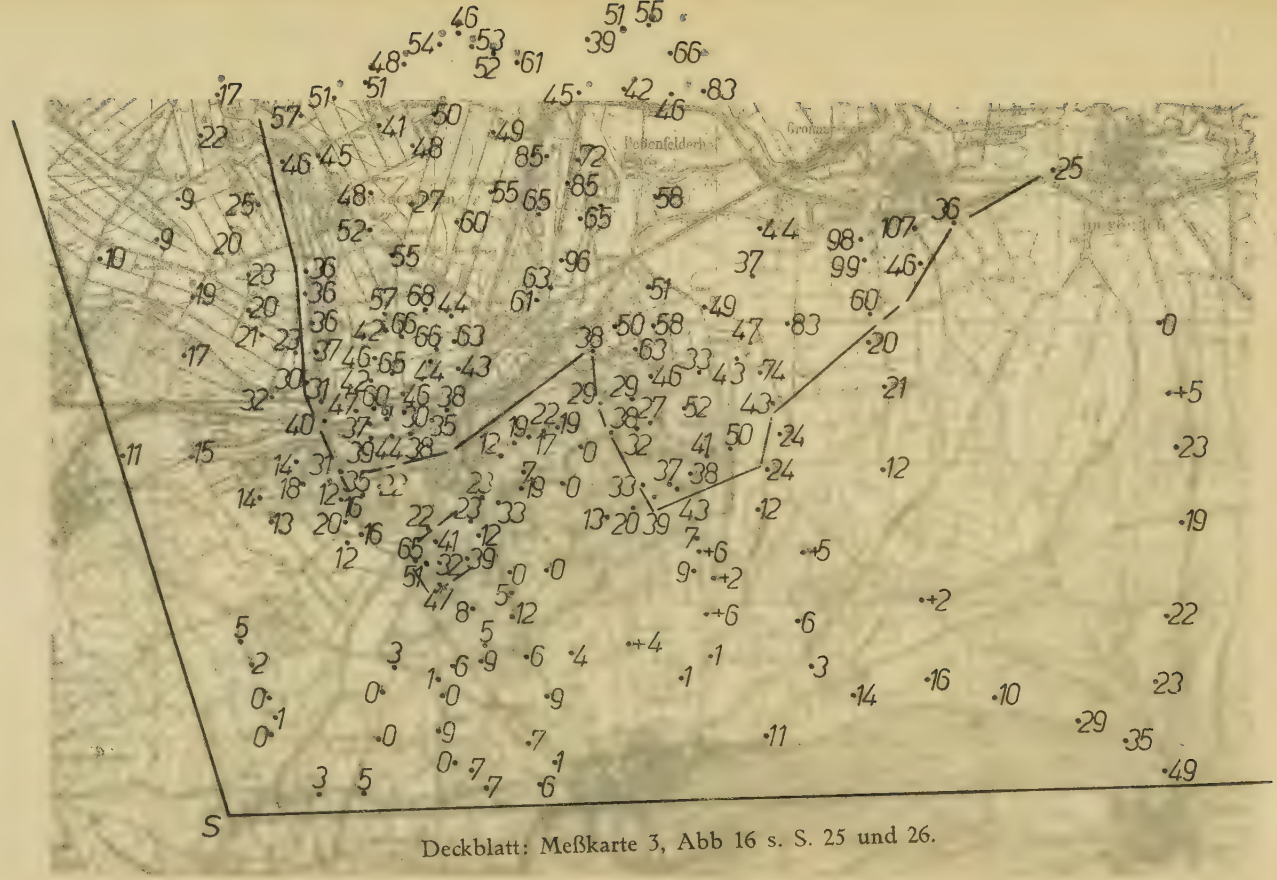
Sacklowski, A.: „Die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen". Einzeldarstellungen aus der elektrischen Nachrichtentechnik. Bd. II, Berlin 1928.

Schmidt, H. W.: Phys. Z. S. 1907.

Smith-Rose, R. L.: „Die elektrischen Eigenschaften des Bodens für Hochfrequenzströme". Jahrb. drahtl. Tel. 43/44. 1934.

Sommerfeld, A.: „Über die Ausbreitung der Wellen in der drahtlosen Telegraphie". Jahrb. drahtl. Tel. 4. 1911. Ann. d. Phys. 28. 1920, 81. 1926.

Strutt, M. J. O.: „Der Einfluß der Erdbodeneigenschaften auf die Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen". Jahreb. drahtl. Tel. 39/40, 1932.
Tripp, K.: „Gesteinsbrüche durch Radio nachweisbar". Die Umschau in Wissenschaft und Technik. Frankfurt. 23. Heft. 3. Juni 1933.
True, H.: „Über die Erdströme in der Nähe einer Sendeantenne für drahtlose Telegraphie". Jahrb. drahtl. Tel. 5. 1911.
Uller, K.: 1. „Beiträge zur Theorie der elektro-magnetischen Strahlung". Diss. Rostock 1902.
— 2. „Die elektro-magnetische Zweimittelplanwelle". Jahrb. drahtl. Tel. 15. 1920.
— 3. „Welleninduktion in der drahtlosen Telegraphie". Jahrb. drahtl. Tel. 33/34. 1929.
Wenz, W.: „Das Mainzer Becken und seine Randgebiete, eine Einführung in die Geologie des Gebiets zwischen Hunsrück, Taunus, Vogelsberg, Spessart und Odenwald". Heidelberg 1921.
Zenneck, J.: „Über die Fortpflanzung ebener elektro-magnetischer Wellen längs einer ebenen Leiterfläche und ihre Beziehung zur drahtlosen Telegraphie". Ann. d. Phys. 23. 1907.
Geologisches Kartenblatt: Frankfurt/Main-Offenbach m. Erläuterungen.
Meßtischblatt Offenbach.



Deckblatt: Meßkarte 3, Abb 16 s. S. 25 und 26.

Strutt, M. J. O.: „Der Einfluß der Erdbode[illegible] auf die Ausbreitung elektro-magnetischer Wellen". Jahrb. drahtl. Tel. 39/40, 1932.
Tripp, [illegible]: „Gesteinsbrüche durch Radio nac[illegible]". Umschau in Wissenschaft und Technik, Frankfurt, 25. Heft 3. Juni 1933.
True, [illegible]: „Über die Erdströme [illegible] für drahtlose Telegraphie". Jahrb. drahtl. Tel. 5[illegible]
Uller, K.: „Beiträge zur Theorie der elek[illegible] Strahlung". Diss. Rostock 1902.
— 2. „Die elektro-magnetische Zweimittelpu[illegible] drahtl. Tel. 15. 1920.
— 3. „Welleninduktion in der drahtlosen [illegible] Jahrb. drahtl. Tel. 33/34. 1929.
Wenz, W.: „Das Mainzer Becken und seine [illegible] Einführung in die Geologie des Gebiets zwischen [illegible] Vogelsberg, Spessart und Odenwald". Heidelberg 19[illegible]
Zenneck, J.: „Über die Fortpflanzung ebener [illegible]cher Wellen längs einer ebenen Leiterfläche und [illegible] drahtlosen Telegraphie". Ann. d. Phys. 23. 1907.
Geologisches Kartenblatt [illegible] Frankfurt/Main-Offenbach mit Erläuterungen.
Meßtischblatt Offenbach.

Unterlage: Das Untersuchungsgebiet bei Bad Vilbel. Lage der 217 Meßorte.
Tektonische Hauptlinien n. W. Paeckelmann u. Geol. Spezialkarte.

Tabelle I

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Nr.			$\cdot 10^2$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^4$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^2$	%	$\cdot 10^3$	%	$\cdot 10^5$	%
1	2,6	27	73	366	2378	933	373	7	2	0	0	0	0
2	2,7	28	75	374	2474	962	274	0	0	30	3	0	0
3	3	27	73	366	2744	1002	374	8	2	10	1	0	0
4	3,5	26	71	356	3189	1053	374	18	5	0	0	0	0
5	3,8	28	75	374	3548	1151	374	0	0	60	5	0	0
6	4,4	25	70	347	3818	1151	373	26	7	20	2	20	5
7	4,8	26	71	356	4230	1228	373	17	4	0	0	10	2
8	5,2	24	68	339	4425	1222	372	33	9	60	5	30	7
9	5,6	26	71	356	4986	1332	371	15	4	0	0	0	0
10	6,4	26	71	356	5698	1392	368	12	3	45	0	0	0
11	6,5	27	73	366	5946	1475	366	0	0	40	3	7	2
12	6,7	26	71	356	5965	1457	365	9	3	0	0	0	0
13	6,9	26	71	356	6140	1479	364	8	2	0	0	0	0
14	7,2	24	68	339	6100	1437	360	21	6	100	7	30	5
15	7,2	26	71	356	6410	1510	360	4	1	20	1	60	9
16	7,4	20	61	304	5613	1305	359	55	15	300	2	110	18
17	7,5	24	68	339	6352	1463	356	17	5	110	8	25	4
18	7,6	24	68	339	6437	1477	354	16	4	130	9	25	4
19	7,9	25	69	347	6855	1542	347	0	0	88	6	0	0
20	8,6	21	63	313	6720	1449	342	29	9	181	13	62	9
21	8,6	22	65	322	6930	1490	342	20	6	140	9	45	7
22	8,7	11	43	213	4615	990	341	129	38	640	65	280	61
23	8,7	21	63	312	6703	1460	340	28	8	170	12	88	12
24	8,9	24	68	339	7115	1550	354	15	4	80	5	40	6
25	8,9	23	67	332	6973	1520	354	22	6	110	7	58	8
26	9,6	13	47	233	5433	1110	340	107	31	520	47	220	41
27	9,1	19	59	295	6697	1400	340	46	13	230	16	97	15
28	9,2	22	65	322	7584	1540	338	16	5	90	6	10	1
29	9,2	18	57	285	8240	1365	338	54	16	265	20	+53	+6
30	9,3	21	63	313	7270	1510	336	24	7	120	8	50	7
31	9,3	12	45	224	5200	1080	336	112	33	550	51	260	50

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Nr.			$\cdot 10^2$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^4$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^2$	%	$\cdot 10^3$	%	$\cdot 10^5$	%
32	9,5	19	59	295	6990	1430	333	40	12	200	14	95	14
33	9,6	15	51	253	6070	1240	331	78	19	390	32	195	32
34	9,6	23	67	332	7970	1620	331	+1	0	10	1	0	0
35	9,7	21	63	313	7579	1539	329	17	5	90	6	42	6
36	9,7	20	61	303	5831	1490	329	26	8	140	9	222	38
37	9,7	18	57	285	6903	1402	329	44	13	230	16	112	16
38	9,8	19	59	295	7216	1457	328	33	10	170	12	84	12
39	9,8	13	47	233	5717	1155	228	94	29	470	41	233	41
40	9,9	14	49	243	6019	1210	326	83	26	420	35	218	36
41	10	17	55	276	6909	1382	324	48	15	250	18	130	19
42	10,1	13	47	233	5892	1172	323	89	28	460	39	223	39
43	10,2	16	53	266	6778	1342	321	55	17	290	22	151	22
44	10,2	16	53	266	6779	1342	321	55	17	290	22	151	22
45	10,4	18	57	285	7400	1451	318	33	10	180	12	120	16
46	10,5	14	49	243	6384	1246	316	74	23	380	31	214	34
47	10,5	20	61	303	7947	1548	316	14	4	80	5	50	6
48	10,6	12	45	223	5906	1147	315	92	29	480	42	260	44
49	10,6	17	55	276	7303	1418	315	40	13	210	15	120	16
50	10,7	17	55	276	7372	1425	313	38	12	200	14	120	16
51	10,8	21	63	313	8438	1624	312	0	0	10	0	10	1
52	10,8	20	61	303	8154	1573	312	9	3	60	4	40	5
53	11	17	55	276	7427	1449	309	33	11	180	12	130	18
54	11	17,5	56	280	7702	1469	309	29	9	160	11	100	13
55	11,1	15	51	253	7020	1332	308	55	18	300	23	180	25
56	11,7	20	61	303	8856	1637	307	4	12	+10	0	15	2
57	11,8	11	43	215	6351	1169	299	83	28	460	39	280	46
58	11,9	10,5	42	208	6181	1133	297	89	30	500	44	300	48
59	11,9	14	49	243	7234	1326	297	54	18	300	23	190	26
60	12,1	12	45	223	6742	1226	295	72	24	400	33	250	37
61	12,1	10	40	199	6013	1093	295	96	33	540	49	333	55
62	12,2	11	43	215	6567	1189	294	78	27	440	37	280	42
63	12,3	11	43	212	6528	1177	292	80	27	450	38	280	44
64	12,3	12	45	223	6853	1236	293	70	24	390	32	250	37

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Nr.			$.10^2$	$.10^3$	$.10^4$	$.10^3$	$.10^2$	$.10^2$	%	$.10^3$	%	$.10^5$	%
65	12,4	12	45	223	6909	1243	291	68	23	390	31	250	36
66	12,4	10	40	199	6161	1107	291	92	32	520	47	330	54
67	12,5	8,5	37	182	5649	1014	291	99	34	620	61	380	67
68	12,5	20	61	303	9460	1692	290	+13	+5	+60	+4	0	0
69	12,6	8,5	36	182	5740	1023	289	107	37	510	50	380	65
70	12,6	12	45	223	7021	1251	289	66	23	380	30	250	26
71	12,7	14	49	243	7902	1370	288	45	16	260	19	160	20
72	12,7	8,5	37	182	5785	1027	288	106	37	600	60	380	66
73	12,9	11	43	212	6845	1206	285	73	26	420	35	280	41
74	13,2	16	53	266	8772	1527	282	16	6	100	7	100	11
75	13,2	15	51	253	8348	1453	282	29	10	180	12	150	17
76	13,3	11,1	43	215	7160	1241	281	66	23	390	31	270	37
77	13,3	8,5	37	182	6059	1152	281	99	35	480	42	380	63
78	13,3	9	38	188	6259	1085	281	93	33	540	46	370	59
79	13,5	13,5	47	239	8056	1386	279	40	14	240	17	190	23
80	13,7	17,5	48	282	9642	1647	277	+5	+2	+20	+1	40	4
81	13,7	13	47	233	7993	1366	277	44	16	260	19	200	25
82	13,7	7,5	34	169	5776	986	277	108	39	6400	65	420	72
83	13,8	12,1	45	226	7793	1327	276	50	18	300	23	230	30
84	13,8	10,2	41	203	7013	1194	276	73	27	440	37	310	44
85	13,9	17	55	276	9603	1629	275	+2	+1	0	0	50	5
86	14	12,4	46	229	8010	1354	274	45	16	280	21	220	28
87	14	14	49	243	8512	1438	274	31	11	190	13	180	21
88	14,1	9	38	188	6634	1117	273	85	31	510	46	350	53
89	14,2	13	47	233	8478	1390	272	39	14	240	17	180	22
90	14,3	9	38	188	6728	1125	271	83	31	500	44	360	54
91	14,5	12	45	223	8080	1343	269	46	17	290	22	230	28
92	14,6	9	38	188	6870	1137	269	81	30	490	43	360	52
93	14,7	9,8	40	197	7233	1196	268	70	26	430	36	330	45
94	14,8	12	45	222	8247	1356	267	44	17	270	20	240	29
95	14,8	12	45	223	8247	1356	267	44	16	270	20	240	29
96	14,9	7	32	161	6001	983	266	105	39	650	66	450	76
97	14,8	16	32	266	9835	1617	267	1	0	10	0	65	7

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Nr.			$.10^2$	$.10^2$	$.10^4$	$.10^3$	$.10^2$	$.10^2$	%	$.10^3$	%	$.10^5$	%
98	14,9	7	32	161	6001	983	266	105	39	650	66	450	76
99	14,9	18	57	285	10600	1737	266	+20	+7	+110	+6	10	1
100	15	9	38	188	7058	1152	265	77	29	480	42	350	50
101	15	16	53	266	9740	1627	265	+1	0	0	0	90	9
102	15	12	45	223	8358	1365	265	42	16	260	19	230	27
103	15,2	10	40	199	7553	1225	263	64	24	400	33	313	41
104	15,2	12	45	223	8468	1374	263	40	15	260	19	220	25
105	15,3	9,5	39	194	7430	1201	262	68	26	430	36	330	44
106	15,3	14	49	243	9303	1503	262	19	7	130	9	140	15
107	15,3	7,5	34	169	6450	1043	262	93	36	590	57	430	66
108	14,5	7	32	161	6200	999	262	101	39	630	63	450	72
109	15,4	9	38	188	7082	1168	262	74	28	460	39	370	52
110	15,5	17	55	276	10757	1720	261	+16	+6	+90	+6	0	0
111	15,6	16	53	266	10360	1660	260	+7	+3	+30	+2	30	3
112	15,6	11	43	212	8280	1325	260	47	18	300	23	250	30
113	15,7	14	49	243	9548	1523	259	16	6	110	7	130	13
114	15,8	9	38	188	7435	1183	258	70	27	450	38	340	46
115	15,9	6,5	31	154	6134	973	257	103	40	660	68	470	76
116	15,9	8	36	179	7122	1130	257	78	30	500	44	380	53
117	15,9	14	49	243	9668	1462	257	14	6	170	11	120	12
118	15,9	9	38	188	7482	1187	257	69	27	440	37	340	45
119	16	8,5	36	181	7227	1143	257	76	30	490	43	370	51
120	16,1	9,1	38	190	7637	1205	256	66	26	430	36	350	46
121	16,2	13	47	232	9390	1475	255	23	9	150	10	160	17
122	16,2	10	40	199	8050	1264	255	56	22	370	29	290	36
123	16,3	9,5	39	194	7976	1235	254	61	24	390	32	310	38
124	16,5	10	40	199	8200	1276	253	54	21	350	27	290	35
125	16,7	8,5	37	182	6707	1177	251	69	28	450	38	350	46
126	17	12,5	46	230	9758	1497	249	19	8	130	9	150	15
127	17,1	7	32	161	6888	1053	248	87	35	580	55	440	63
128	17,1	9,5	39	194	8272	1265	248	55	22	360	29	300	36
129	17,2	8	36	179	7703	1175	247	68	28	450	38	360	46
130	17,2	6,5	31	154	6636	1012	247	93	37	620	61	470	70

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Nr.			$\cdot 10^2$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^4$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^3$	%	$\cdot 10^3$	%	$\cdot 10^5$	%
131	17,3	10,5	41	206	8920	1351	247	41	16	270	20	240	27
132	17,4	8	35	175	7622	1157	246	71	29	470	41	360	47
133	17,4	13	47	233	10150	1575	246	13	5	50	3	120	12
134	17,4	13	47	233	10150	1539	246	13	5	90	6	120	12
135	17,6	7,5	34	169	7420	1116	245	76	31	510	46	400	54
136	17,7	7	32	161	7130	1072	244	83	34	560	52	440	61
137	17,7	11,5	44	218	9630	1447	244	26	11	180	12	180	19
138	17,7	7	32	161	7130	1072	243	83	34	560	52	440	61
139	17,9	6	30	150	6705	1002	243	93	38	630	63	490	72
140	17,9	6	30	150	6705	1002	243	93	38	630	63	490	72
141	18	9,5	39	195	8742	1303	242	47	19	330	25	280	32
142	18	10,5	41	206	9465	1378	242	37	15	250	14	210	22
143	18,2	12	45	223	10140	1503	241	18	7	130	9	140	14
144	18,2	7	32	161	7332	1087	241	80	33	540	50	420	20
145	18,2	15	51	253	11510	1706	241	+13	+5	+80	+5	0	0
146	18,3	7	32	161	7372	1091	240	79	33	540	50	420	58
147	18,5	9	38	188	8706	1280	239	51	22	350	27	300	34
148	18,5	6	30	150	6930	1019	239	89	37	610	60	480	69
149	18,6	7	32	161	7492	1098	238	77	32	530	48	410	55
150	18,6	9,5	39	194	8998	1311	238	45	19	320	24	270	30
151	18,8	7	33	163	7643	1115	237	74	31	510	46	400	53
152	18,8	6	30	150	7042	1027	237	87	37	600	58	470	66
153	18,8	8	36	179	8422	1228	237	58	24	400	33	330	39
154	18,9	4,5	24	121	5727	833	236	115	49	800	96	590	104
155	19,5	9	38	188	9175	1314	232	44	19	320	24	270	29
156	19,5	7	32	161	7854	1125	232	71	31	500	45	400	50
157	19,7	6,5	31	154	7602	1084	231	77	33	550	51	430	56
158	19,7	6	30	150	7378	1051	231	81	35	580	55	450	61
159	19,8	5,5	28	140	6930	985	231	91	39	640	65	500	72
160	19,8	7	32	161	7976	1136	231	70	30	490	43	390	49
161	19,9	7	32	161	8017	1138	230	69	30	490	43	390	49
162	20	9	38	188	9410	1331	230	42	18	300	23	250	27
163	20	10	40	199	9938	1405	230	31	13	230	16	200	20

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Nr.			$.10^2$	$.10^2$	$.10^4$	$.10^3$	$.10^2$	$.10^2$	%	$.10^3$	%	$.10^5$	%
164	20	5,8	30	148	7377	1043	230	82	36	590	57	460	62
165	20	5	27	133	6625	937	230	97	42	690	74	530	80
166	20,1	6,5	31	154	7755	1094	229	74	32	540	49	420	54
167	20,1	5,5	28	140	7037	993	229	89	39	640	65	490	69
168	20,4	6,5	31	154	7870	1102	227	73	32	530	48	410	52
169	20,6	7	32	161	8298	1156	226	65	29	470	41	370	45
170	20,6	6,5	31	154	7950	1107	226	72	32	520	47	410	51
170	20,8	5,8	30	149	7752	1075	225	76	34	550	51	430	55
172	20,9	9,5	39	193	10070	1393	225	32	14	240	17	200	19
173	21	4,5	24	121	6363	878	224	103	46	750	85	570	90
174	21,1	6	30	150	7903	1088	223	73	33	540	50	400	51
175	21,1	12,5	46	228	12030	1657	223	+5	2	+30	+2	0	0
176	21,2	4,5	31	121	6424	882	223	102	46	750	85	570	88
177	21,3	6	30	150	7978	1093	222	73	33	540	49	410	51
178	21,5	4,5	24	121	6515	888	221	100	45	640	72	560	85
179	21,5	10	40	200	10660	1457	221	22	10	170	12	160	15
180	21,5	5,8	30	148	7930	1082	221	74	33	550	51	410	52
181	21,6	4,5	24	121	6547	891	221	100	45	740	83	550	84
182	21,8	5,5	29	140	7633	1034	220	80	36	600	58	440	58
183	21,9	7	32	161	8820	1192	219	58	27	440	37	320	36
184	22,1	5,8	30	148	8152	1097	218	71	32	530	48	390	48
185	22,3	10	40	199	11080	1484	217	18	8	150	10	100	9
186	22,7	8	36	179	10170	1350	215	36	17	280	21	190	19
187	22,8	5,5	29	140	7982	1057	215	75	35	570	54	410	51
188	22,9	6	30	150	8576	1133	214	64	30	500	44	350	41
189	23	8	36	179	10300	1358	214	35	16	270	18	180	17
190	23,1	5,8	30	148	8522	1121	214	76	36	510	46	360	42
191	23,2	5,5	28	140	8122	1066	213	73	34	560	53	400	49
192	23,2	5	27	132	7686	1009	213	82	40	620	61	320	59
193	23,3	5,5	28	140	8158	1069	213	73	34	560	52	390	48
194	23,4	5,8	30	148	8632	1128	212	65	30	500	45	340	40
195	23,6	5	27	133	7818	1018	211	78	37	610	60	420	54
196	24,1	5,8	30	148	8890	1145	201	62	30	480	42	310	35

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Nr.			$\cdot 10^2$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^4$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^2$	%	$\cdot 10^3$	%	$\cdot 10^5$	%
197	24,3	3,5	21	105	6403	821	208	103	49	810	99	570	88
198	24,4	3,5	21	105	6430	823	208	102	49	810	98	570	88
199	24,5	7	32	161	9870	1261	207	46	22	370	29	220	22
200	24,6	5,5	29	143	8796	1122	207	64	31	510	46	320	36
201	25	6	30	148	9222	1166	205	58	28	460	39	280	30
202	25,1	3,8	23	110	7088	894	205	94	46	740	83	490	69
203	25,6	5,5	28	140	8962	1120	203	63	31	510	46	300	33
204	25,9	5	26	134	8680	1078	202	68	34	550	51	320	37
205	26	4,5	24	122	7934	984	201	79	39	650	66	400	50
206	26,1	6	30	150	9775	1208	201	51	25	420	35	210	21
207	26,2	5	30	130	8482	1048	201	71	36	580	55	340	40
208	26,2	3	20	97	6362	786	201	104	52	840	107	550	87
209	26	6	30	150	10110	1203	198	48	24	430	36	170	16
210	27	7	32	161	10880	1324	198	37	19	310	23	90	8
211	27,1	5	27	133	8978	1091	197	65	33	540	50	280	31
212	27,5	7	32	161	11080	1336	196	35	18	290	22	0	0
213	28,7	7	32	161	11560	1365	192	31	16	260	19	0	0
214	29,5	6,5	31	154	11380	1325	189	35	18	300	23	0	0
215	29,6	10	40	199	14710	1710	189	+11	+6	+80	+5	+330	+22
216	30	9	38	188	14120	1630	188	+ 1	0	0	0	+290	+20
217	30	6	30	150	11240	1297	188	38	20	330	25	0	0

LEBENSLAUF

Am 17. Juni 1909 wurde ich, Leo Ameely, zu Hamborn geboren. Ich bin deutscher Staatsangehöriger und katholischer Konfession.

Nach 4 Jahren Volksschule besuchte ich in meiner Geburtsstadt 4 Jahre das Städtische Real-Gymnasium, 1 Jahr eine private Handelsschule und 1 Jahr eine private Oberrealschule. An der städtischen Oberrealschule zu Hamborn legte ich nach weiteren 4 Jahren Ostern 1930 die Reifeprüfung ab. Ich studierte an der Universität Bonn Philosophie, Physik, Geographie, Geodäsie und Mathematik. Nach zwei Semestern wechselte ich die Universität und ging für ein Semester nach München. Seit meinem vierten Semester bin ich bis zum neunten Semester in Marburg/Lahn immatrikuliert gewesen. An der Marburger Universität nahm ich Geologie als Fach hinzu. Im Anschluß an das 8. Semester führte ich bis November 1934 die für die vorliegende Arbeit notwendigen praktischen Untersuchungen durch. Ab Oktober 1935 war ich am W. G. Kerckhoff-Institut in Bad Nauheim tätig. Von meinen geologisch-physikalischen Arbeiten wurde ich insgesamt für 4 Monate vom W. G. Kerckhoff-Institut beurlaubt und für dringende Aufgaben der Raumforschung an der Universität Marburg freigegeben.

Meine akademischen Lehrer waren: die Herren Professoren und Dozenten Grüneisen, Hasse, Jaensch, Krafft, F. A. Schulze, Schultze-Jena, Tomaschek, Tripp, Wedekind, Ullrich und Vogt.

Es sei mir gestattet, meinen akademischen Lehrern an dieser Stelle meinen Dank auszusprechen, besonders Herrn Dozenten Dr. K. Tripp für die Beratung bei der Anfertigung meiner Dissertation.